

ÉRIE A, N° 723.

N° D'ORDRE :

1487.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES,

PAR

M. R. TRONQUOY.

1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES GITES D'ÉTAÏN.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 23 décembre 1912, devant la Commission d'Examen.

MM. DASTRE,	<i>Président.</i>
MICHEL,	{ <i>Examineurs.</i>
MOLLIARD,	

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1912

8.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES

DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES,

PAR

M. R. TRONQUOY.

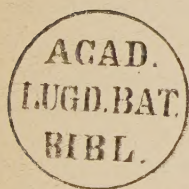
1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES GITES D'ÉTAIN.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 21 décembre 1912, devant la Commission d'Examen.

MM. DASTRE, *Président.*

MICHEL, }
MOLLIARD, } *Examineurs.*



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1912

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS.

MM.

Doyen	P. APPELL, Professeur.	Mécanique analytique et Mécanique céleste.
Doyen honoraire	G. DARBOUX.....	Géométrie supérieure.
Professeurs honoraires {	CH. WOLF.	
	J. RIBAN.	
Professeurs	LIPPMANN	Physique.
	BOUTY.....	Physique.
	BOUSSINESQ.....	Physique mathém. et Calcul des probabilités.
	PICARD.....	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.
	Y. DELAGE.....	Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
	GASTON BONNIER.....	Botanique.
	DASTRE.....	Physiologie.
	KÖENIGS.....	Mécanique physique et expérimentale.
	VELAIN.....	Géographie physique.
	GOURSAT.....	Calcul différentiel et Calcul intégral.
	HALLER.....	Chimie organique.
	JOANNIS.....	Chimie (Enseignement P. C. N.).
	JANET.....	Physique (Enseignement P. C. N.).
	WALLERANT.....	Minéralogie
	ANDOYER.....	Astronomie.
	PAINLEVE.....	Mécanique rationnelle.
	HAUG.....	Géologie.
	HOUSSAY.....	Zoologie.
	H. LE CHATELIER...	Chimie.
	GABRIEL BERTRAND..	Chimie biologique.
	M ^{me} P. CURIE.....	Physique générale.
	CAULLERY.....	Zoologie (Evolution des êtres organisés).
	C. CHABRIÉ.....	Chimie appliquée.
	G. URBAIN.....	Chimie.
	ÉMILE BOREL.....	Théorie des fonctions.
	MARCHIS.....	Aviation.
	JEAN PERRIN.....	Chimie physique.
	G. PRUVOT.....	Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
	MATRUCHOT.....	Botanique.
	ABRAHAM.....	Physique.
	CARTAN.....	Calcul différentiel et Calcul intégral.
	N.....	Application de l'Analyse à la Géométrie.
	N.....	Histologie.
Professeurs adjoints	PUISEUX.....	Mécanique et Astronomie.
	LEDUC.....	Physique.
	MICHEL.....	Minéralogie.
	HÉROUARD.....	Zoologie.
	LÉON BERTRAN.....	Géologie.
	RÉMY PERRIER.....	Zoologie (Enseignement P. C. N.).
	MOLLIARD.....	Physiologie végétale.
	COTTON.....	Physique.
	LESPIEAU.....	Chimie.
	GENTIL.....	Pétrographie.
	SAGNAC.....	Physique (Enseignement P. C. N.).
	PEREZ.....	Zoologie (Evolution des êtres organisés).
Secrétaire	D. TOMBECK.	

A MES MAÎTRES :

MONSIEUR FR. WALLERANT,

MEMBRE DE L'INSTITUT,
PROFESSEUR DE MINÉRALOGIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES.

MONSIEUR A. LACROIX,

MEMBRE DE L'INSTITUT,
PROFESSEUR DE MINÉRALOGIE AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

MONSIEUR L. MICHEL,

PROFESSEUR ADJOINT DE MINÉRALOGIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES.

Hommage respectueux.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551628_0037

A MONSIEUR H. FISCHER,

MAITRE DE CONFÉRENCES ADJOINT A LA FACULTÉ DES SCIENCES.

Affectueuse reconnaissance.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
INTRODUCTION	I

CHAPITRE I.

1. But du travail	3
2. Bibliographie	4
3. Historique	4
4. Situation géographique. — Géologie	8

CHAPITRE II. — LES FILONS.

1. Relevé des principaux filons	10
2. Hypothèses émises sur la formation des filons	27
3. L'altération de la granulite dans la grande tranchée	40
4. Cause des fractures	48
5. Origine du mouvement qui a donné naissance aux filons	54

CHAPITRE III. — LES MINÉRAUX.

1. Minéraux des filons	64
2. Minerais dans les filons	73
3. Minéraux secondaires dans les filons	78
4. Minéraux des alluvions	80
5. Minéraux contenus dans les roches	81

CHAPITRE IV. — LES ROCHES.

1. Étude pétrographique du massif	85
1° But de cette étude	85
2° La granulite	87
3° Roches broyées	102
4° Formations pegmatiques	109
5° L'altération atmosphérique	116
6° L'altération filonienne	124

— VIII —

	Pages.
2. Modifications au contact des filons.....	126
1° A la carrière de Maupas.....	126
2° A la mine.....	136
3° Aux épontes des filons encaissés par les schistes.....	138
3. Analyse chimique des principaux types de roches.....	140
4. Conséquences de l'examen pétrographique, relativement à l'étude des filons.....	144

CHAPITRE V. — LES INCLUSIONS DU QUARTZ..... 151

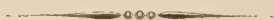
CHAPITRE VI. — ÉTUDE COMPARATIVE
DE QUELQUES AUTRES GISEMENTS STANNIFÈRES.

1. Saxe et Bohême.....	158
<i>a.</i> Altenberg.....	158
<i>b.</i> Granpen.....	164
<i>c.</i> Zinnwald.....	164
<i>d.</i> Geyer.....	169
<i>e.</i> Conclusions.....	175
2. Cornouailles.....	175
<i>a.</i> Saint-Day.....	176
<i>b.</i> Carn Brea.....	179
<i>c.</i> Région Camborn-Redruth.....	183
<i>d.</i> Saint-Yves.....	187
<i>e.</i> Saint-Just.....	191
<i>f.</i> Conclusions.....	200
3. Greisen et Kaolin.....	203
4. Essai de comparaison des gisements étudiés.....	205

CHAPITRE VII. — HYPOTHÈSES SUR LA FORMATION DE L'OXYDE
D'ÉTAIN..... 214

CHAPITRE VIII. — REMPLISSAGE DES FILONS..... 225

CONCLUSIONS..... 235



PREMIÈRE THÈSE.

CONTRIBUTION

A

L'ÉTUDE DES GITES D'ÉTAIN.

INTRODUCTION.

C'est en visitant, il y a quelques années, diverses mines de Bretagne en compagnie de mon maître M. L. Michel, que j'allai pour la première fois à la Villelder. Ayant ainsi, sous la conduite d'un guide aussi expérimenté, parcouru les principaux travaux tant au siège principal de l'exploitation qu'à Maupas, j'ai été frappé de voir aussi complètement abandonnée une exploitation qui avait, à un certain moment, donné de si belles espérances. Aussi ai-je voulu me rendre compte des causes pour lesquelles ce gisement n'a pas répondu à ce qu'on avait cru pouvoir en attendre, y étudier le mode de dépôt de l'oxyde d'étain, et le comparer avec quelques-uns de ceux qui ont mieux récompensé l'initiative et le travail du mineur.

Le travail que je présente ici est donc une étude de Géologie appliquée, on verra que la Minéralogie et la Pétrographie y entrent pour une grande part.

Je tiens à remercier M. Michel, qui a toujours suivi mes recherches avec le plus bienveillant intérêt, M. Wallerant dans le laboratoire duquel ce travail a été fait et M. Lacroix, auquel je dois mon initiation à l'étude microscopique des roches. Je les prie d'accepter tous trois l'expression de ma respectueuse reconnaissance.

M. Ch. Barrois, dont le nom est tout naturellement associé à tout ce qui touche la géologie de la Bretagne, a bien voulu me donner quelques conseils, je lui en exprime ici ma profonde gratitude, et remercie tous ceux qui, en France comme à l'Étranger, ont contribué à me donner des renseignements ou à me faciliter la visite des exploitations où j'ai pu pénétrer.



CHAPITRE PREMIER.

I. — BUT DU TRAVAIL.

Je me suis proposé, dans ce travail, de rechercher les conditions dans lesquelles a pu se produire la cassitérite, alors qu'on la rencontre dans une situation telle qu'il ne semble pas que les hypothèses les plus classiques puissent s'appliquer à sa venue et à son dépôt. La mine de la Villeder m'a paru très favorable à cette étude; si elle est connue depuis longtemps, elle n'a jamais fait l'objet de recherches embrassant tout à la fois la formation des fractures et leur remplissage, et les opinions les plus variées ont été émises à propos de ces dernières. Aussi commencerai-je, après un rapide aperçu historique, par chercher à établir la nature des fractures, leur origine et leur âge; j'étudierai ensuite les filons eux-mêmes et les modifications présentées à leur voisinage par la granulite dont je décrirai les divers types. Après avoir comparé les observations ainsi recueillies à celles que l'on peut faire dans d'autres gisements, je pourrai émettre quelques hypothèses sur la venue et la cristallisation de l'oxyde d'étain, ainsi que sur le mécanisme de remplissage des filons.

II. — BIBLIOGRAPHIE RELATIVE A LA VILLEDER.

BLAVIER ET LORIEUX, *A. des M.*, 3^e série, t. VI, 1834.

DAUBRÉE. *Gisement constitution et origine des amas de minerais d'étain* (*A. des M.*, 3^e série, t. XX, 1841).

AUDIBERT, *Sur un gisement d'étain à Maupas* (*A. des M.*, 4^e série, t. VII, 1844).

BLAVIER ET LORIEUX, *A. des M.*, 4^e série, t. VII, 1844.

DUROCHER, *C. R. A. S.*, t. XXXII, 1851.

RENOUF, 1858.

SIMONIN, *Mines d'étain de la Villelder* (*B. S. G. F.*, 2^e série, t. XXIII, 1866).

DE LIMUR, *Catalogue raisonné des minéraux du Morbihan*, Vannes, 1874.

DE LIMUR, *La mine d'étain de la Villelder* (*Bull. soc. Hist. nat. Toulouse*, 1882).

LODIN, *Note sur la constitution des gîtes stannifères de la Villelder* (*B. S. G. F.*, 3^e série, t. XII, 1884).

DAUBRÉE, *Eaux souterraines*, 1887).

BAUDOT, *Les mines d'étain de la Villelder* (*Bull. Soc. ind. min. Saint-Étienne*, 3^e série, t. I, 1887).

FUCHS ET DE LAUNAY, *Traité des gîtes minéraux et métallifères*.

A. LAGROIX, *Minéralogie de la France et de ses colonies*, 1893-1911.

III. — HISTORIQUE.

Il est certain que les filons de la Villelder ont été connus et exploités à une époque reculée ; on voyait autrefois la trace d'anciens travaux, mais les recherches successives qui ont été faites et l'exploitation que l'on a poursuivie pendant plusieurs années, ont fait disparaître ces vestiges de l'industrie antique.

Si l'on se reporte aux notes prises par les observateurs qui ont parcouru la région avant que l'on ait de nouveau reconnu les filons, on y voit qu'il se trouvait alors sur leur emplacement de nombreuses excavations dont une de 500^m de long sur plus de 70^m de large et une profondeur de 6 à 7^m au-des-

sous du niveau du plateau ; des débris de quartz anguleux présentant des traces de percussion les remplissaient en partie. En 1854, les travaux effectués firent reconnaître, à une faible profondeur, une rigole bien conservée longeant l'affleurement, les bords en étaient formés de gros blocs, tandis que l'axe était rempli de sable fin. Le filon principal, déchaussé, se présentait sous l'aspect d'une sorte de mur dressé au milieu des débris quartzeux. Aucun souvenir ne demeurerait chez les habitants du pays, aucune tradition même ne s'était transmise, les débris de quartz n'étant plus en 1834 utilisés que pour l'empierrement des routes. Dans les environs existaient d'ailleurs d'autres traces de l'activité des anciens, on peut citer par exemple diverses excavations près de Quily, sur le plateau au-dessus du puits dont nous parlerons plus loin sous le nom de Puits du Lédô ; sur les collines bordant le ruisseau à l'est de Pourmabon ; aux environs de Guégon à 2^{km} de la route de Vannes à Josselin, etc.

La roche existant partout presque à la surface, quiconque a besoin de matériaux pour construire, creuse sur place dans la lande afin de se procurer les moellons nécessaires. Ainsi prennent naissance d'innombrables cavités, dans lesquelles il faut se garder de voir un vestige antique ou même une fouille récente faite dans un but de recherche minière. Cette réserve faite, il n'en reste pas moins certain que celles qui sont citées plus haut, et surtout les fosses que l'on trouvait près de l'ancien Moulin de la Villeder, datent d'une époque très reculée et ont eu pour but la recherche de l'étain.

La plupart des auteurs attribuent ces travaux à l'époque de la domination romaine ; ils signalent la découverte de fragments de poterie, d'une hache en bronze et la présence de scories avec grains d'étain sous les prairies de la Hy à 1^{km} N-E de la Villeder. Bronne, dans son rapport, indique

aussi que l'on trouve les restes d'enceintes de camps romains près du Moulin de la Villeder, à Les Castiller près de Lizio, et au sud-est de Billio et qu'en 1853 on mit à jour une voie romaine.

M. Baudot pense qu'il faut plutôt voir dans les fossés de la Villeder les restes des travaux datant de l'époque du bronze et, personnellement, cette dernière supposition me paraît assez vraisemblable. Les Romains, mineurs habiles et qui savaient fort bien s'attaquer aux roches les plus dures, auraient sans nul doute poussé les travaux en profondeur ; l'exploitation était au contraire très rudimentaire : le quartz brisé n'était pas broyé, les mouches d'étain semblent avoir été extraites des fragments anguleux que l'on trouvait au pied du filon. Les outils très primitifs que l'on a pu recueillir sont un argument en faveur de cette hypothèse ; on a trouvé, par exemple, une hache en fibrolite. Quant à la présence de camps romains, elle peut fort bien n'avoir eu aucune relation avec la mine, leur situation sur un plateau d'où l'on pouvait facilement surveiller une grande étendue de pays suffit à expliquer le choix de ces emplacements.

Quoi qu'il en soit, c'est en 1834 que M. de Bellevue, propriétaire du château de la Villeder, fut frappé de la présence, dans les débris de quartz exploité pour empierrement, d'un minéral très dense dont il communiqua des échantillons à M. Guillotin, commis des forges de Paimpont, lequel les envoya aux ingénieurs des mines de Rennes qui reconnurent la cassitérite. L'administration des mines fit faire sans résultat quelques travaux superficiels et, en 1844, le minerai fut retrouvé à Maupas, mais M. Audibert considère ce gîte comme irrégulier et inexploitable.

C'est en 1845 que les recherches sérieuses furent entreprises ; l'exploitation s'est continuée depuis cette époque jusqu'en 1886 date du dernier abandon de la mine, mais

l'activité déployée par les diverses sociétés qui se sont succédé a été très irrégulière. Il y eut même quelques interruptions complètes en 1848 et en 1859 par exemple. En 1855 une vaste concession avait été accordée, mais aucun effort important n'a été tenté en dehors de la Villeder.

Les travaux effectués ont été considérables ; 17 puits ont été foncés dont quelques-uns situés vers Plinet ou vers le ruisseau de Brohais sont peu profonds, mais plusieurs ont dépassé 50^m, le puits Saint-Michel atteignait 113^m. On avait creusé au début une tranchée de 150^m de long sur 30^m de large et 20^m de profondeur. De nombreux étages ont permis de donner aux galeries une grande extension surtout aux niveaux 56 et 73 longtemps restés niveaux de fonds. Deux galeries d'écoulement l'une vers le ruisseau de Plinet (niveau 56) l'autre vers le ruisseau de Brohais aboutissant au niveau 1 du puits 7 ⁽¹⁾ les complétaient. Les entrées de ces deux galeries sont à 700^m l'une de l'autre.

De nombreux travaux avaient été entrepris dans les environs. Deux puits au Léo, de 26^m, dont l'un avec galeries. Deux puits à la Villaulau, de 19^m de profondeur et galeries. Galeries de 5^m à Maupas. Tranchées : Moulin de Bobuay — Tréguguet — Gras — Maupas — Pourmabon.

Un plan et une coupe de la mine, publiés dans le *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale de Saint-Étienne*, permettent de se rendre facilement compte de l'importance qu'a pu avoir l'exploitation. Pour les renseignements techniques et études de détail relatives aux travaux souterrains, à l'extraction, à la préparation mécanique, à la fonderie, je ne

⁽¹⁾ Les orifices des puits voisins du Moulin de la Villeder se trouvant à une altitude plus élevée que ceux des puits situés plus au Nord ou plus au Sud, il s'ensuit que le niveau 1 du puits 7 (situé à l'extrémité nord de la grande tranchée) correspond à un niveau plus profond du puits Saint-Michel (niv. 41).

puis que renvoyer aux rapports des ingénieurs, ne pouvant les'exposer ici.

IV. — SITUATION GÉOGRAPHIQUE. — GÉOLOGIE.

La mine de la Villelder est située au nord du département du Morbihan, à 9^{km} (à vol d'oiseau) S 44° O de Ploermel dans la commune du Roc-Saint-André, à 2^{km},5 N 73° O de ce village sur la route qui le joint à Josselin.

Elle se trouve au bord d'un plateau (altitude 110^m), extrémité Est d'un massif granitique dont les plus grandes dimensions sont de 20^{km} de l'Est à l'Ouest et de 9^{km} du Nord au Sud. Ce massif est divisé en deux parties inégales par une bande Nord-Est de micaschiste qui a subsisté là où le magma granitique s'est arrêté à une distance de la surface plus grande que dans les autres points (¹). Il est limité au Sud-Ouest et à l'Ouest par des failles et bordé au Sud par le synclinal de Malestroit, qui est le plus septentrional de cette série de plissements Nord 75° Ouest qui caractérisent la tectonique de la partie sud du sol breton.

Il a été établi (²) que les massifs granitiques qui jalonnent ces plissements se sont mis en place à la faveur des mouvements qui ridaient le sol. Celui de la Villelder est, comme les autres, contemporain du début de la formation de la chaîne hercynienne ; c'est à la fin du westphalien qu'il s'est élevé, en métamorphisant les schistes à son contact, sans toutefois parvenir à la surface, l'érosion seule l'ayant mis à nu. Lors du second grand mouvement de la région qui est post-stépha-

(¹) La nature des terrains encaissants est indiquée sur la carte géologique au 50 000 dressée sous la direction de M. Ch. Barrois.

(²) Voir les nombreux travaux de M. Ch. Barrois, notamment : *Bulletin de la carte géologique*, t. XIII, Bull. 91.

nien (1), il était déjà complètement consolidé, ainsi que le prouvent les phénomènes de broyage et les cassures nettes qu'il présente.

(1) M. Ch. Barrois a démontré que beaucoup plus tard, assez longtemps après le callovien et sans doute au tertiaire, de nouveaux efforts se sont produits en Bretagne. Certaines failles ont même rejoué à cette époque (*Ann. Soc. Géol. du Nord*, t. XXVI, p. 7 à 10).



CHAPITRE II.

LES FILONS.

I. — RELEVÉ DES FILONS.

Les filons qui à la Villeder furent connus les premiers et les mieux étudiés, correspondent à cinq groupes.

1. Villeder; 2. Plinet; 3. Maupas-Le Lédô; 4. Pourmabon; 5. La Ville-au-Lau, auxquels il y a lieu d'ajouter le ou les filons dits de Sérent. Les trois premiers groupes se trouvent dans la même région à l'est du massif et les deux suivants au nord, je les décrirai successivement d'une manière succincte en y rattachant les observations faites et les mesures relevées sur le terrain.

1. GROUPE DE LA VILLEDER.

Le groupe de la Villeder, sur lequel s'était fixé l'exploitation, est essentiellement formé de quatre filons :

1° *Filon n° 1.* — C'est le grand filon qui s'élève comme un mur au fond de la grande tranchée.

2° *Filon n° 2.* — A l'ouest du précédent, se voit très bien aussi dans la grande tranchée.

3° *Filon n° 3.* — A l'est du filon n° 1; c'est lui qui, à l'entrée sud de la grande tranchée (près de la route) forme, au moins quant à sa partie basse, le talus qui la limite. Il est d'ailleurs percé çà et là par des amorces de galeries.

4°. *Filon couché* (ainsi nommé par M. Baudot). — Affleure à l'ouest du filon n° 2. Il est à l'heure actuelle moins bien visible que les deux autres et plus ou moins caché par les éboulis. On peut néanmoins le reconnaître dans une fouille près de l'ancien manège.

Les rapports (Bronne, Fuchs, de Limur) donnent comme direction générale le N-S magnétique, actuellement elle semble être de 4° à 5° O pour le filon n° 3 parallèle au filon principal (21° O vrai). M. Baudot donne 8° O (24° O vrai) pour les filons 1 et 3 et le filon couché, et 4° O (20° O vrai) pour le filon 2. La valeur 21° mesurée par moi ne s'éloignant pas sensiblement de ces dernières, je la considérerai dans ce qui suivra comme la direction générale du faisceau. Les autres caractéristiques de ces filons sont :

Filons.	Puis- sance (¹).	Plon- gement.	Filons.	Puis- sance (¹).	Plon- gement.
1.....	2,50	89° O	3.....	1	79° O
2.....	0,80	79° O	4(couché).	1,80	36° O

On pourrait penser qu'étant donné la faible distance qui sépare ces filons à la surface, ils doivent rapidement se recouper ; il n'en est toutefois rien, car à une profondeur peu considérable le filon 1 devient parallèle au filon 2.

Ces 4 filons sont d'ailleurs loin d'être les seuls. Ils

(¹) Il existe encore des filons à l'est du filon 3, une petite galerie aboutissant dans le fond de la grande tranchée et perpendiculaire à la direction générale du faisceau permet d'en observer quelques-uns. D'autres affleurent à la surface plus à l'Est, notamment à quelques mètres au nord de la route, aussitôt que celle-ci a cessé d'être sur le schiste. Deux d'entre eux bien dégagés sur 4 mètres de profondeur environ ont donné :

Dir.....	21° O	Pl.....	50°,8	Puiss.....	0 ^m ,13
»	31° O	»	50°,0	»	2 ^m

sont, près de la surface, reliés entre eux par une grande quantité de veines souvent peu inclinées, si bien que l'on a dit que l'ensemble avait l'apparence d'un stockwerck. Mais il faut, ce me semble, voir dans cette expression plutôt le désir de frapper l'imagination avec un mot que les mineurs rattachent tout naturellement à l'idée de l'étain, qu'au souci d'une comparaison exacte. Quiconque a vu les vrais stockwercks de Saxe et de Bohême avec leurs veines innombrables et enchevêtrées en tous sens, toutes soit très minces (Altenberg), soit au moins de faible puissance (Geyer, Zinnwald) et sans que l'on puisse souvent y reconnaître l'existence de véritables filons continus, est frappé de la différence qui existe entre ces formations et celle de la Villelder avec ses puissants filons réguliers en direction comme en profondeur. La présence de veines quartzeuses plus ou moins couchées et de petites veinules qui çà et là se détachent des filons pour se coincer dans la roche, ne suffit pas pour autoriser une comparaison de gîtes différents par des caractères plus importants. Ces petites veines sont d'ailleurs non une analogie mais une différence avec les stockwercks véritables. Alors que dans ceux-ci on voit des veinules de quartz de moins de 1^{cm} d'épaisseur se continuer en ligne droite pendant plusieurs mètres et ne prendre fin qu'en rencontrant une autre cassure, à la Villelder des veinules de 2^{cm} à 3^{cm} ne peuvent être suivies ; elles semblent sans direction précise et se coincent rapidement. Le stockwerck est un véritable réseau dont les fractures sont comparables aux multiples fentes qui se produisent dans une masse de verre rapidement refroidie. Les fissures de la Villelder, au contraire, tendent continuellement à se dévier, à se réunir, à se séparer, mais finissent par donner des fentes importantes, parallèles entre elles.

Lorsqu'à une profondeur d'environ 40^m, le grand filon

presque perpendiculaire à la surface (1) s'incline à l'Ouest, et que tous les filons accusent alors un prolongement de 60°, on constate que les nombreuses veines qui, en surface, les unissaient, disparaissent. Le grand filon a été recoupé aux niveaux 22, 41, 56 et paraissait toujours aussi régulier (2).

En direction les filons se prolongent sans changement appréciable tant qu'ils demeurent dans la granulite. Étant donné leur emplacement et leur direction (3), on voit qu'ils doivent pénétrer dans le schiste à 250^m au sud de la route, au nord-ouest de Plinet; c'est ce qui se passe en effet, mais ils diminuent de puissance en s'en rapprochant et semblent s'y ramifier et s'y perdre, autant du moins qu'un examen de la superficie, difficile à cause de la végétation abondante qui recouvre le schiste, permet de le croire. Au Nord, ils disparaissent momentanément en coupant le ravin de Brohais, mais réapparaissent ensuite et peuvent encore être suivis sur une centaine de mètres; on les perd dans la granulite pourrie, couverte d'ajoncs.

C'est donc sur une longueur de près de 1^{km} que le faisceau de filons peut être suivi. Sur ce parcours, la direction est toujours constante et sans accidents, sauf toutefois paraît-il pour le filon n° 1 : une faille qui le rejette de 10^m ayant été reconnue dans la galerie du deuxième niveau à 80^m au nord du puits Saint-Michel. Au delà de la faille, le filon reprend d'ailleurs sa direction primitive.

(1) Au moins dans la partie sud de la grande tranchée car plus au Nord comme au Sud l'inclinaison est un peu plus considérable.

(2) On ne l'a pas recoupé au fond du puits Saint-Michel, les travaux ayant été arrêtés avant que ce résultat fût atteint.

(3) Les filons sont encaissés dans la granulite non loin du bord du massif, le schiste se trouvant à quelques mètres seulement à l'Est, mais le contact granite-schiste ayant grossièrement la même direction que les filons, ces derniers se trouvent aux environs du Moulin en pleine granulite.

La minéralisation ⁽¹⁾ est extrêmement irrégulière, la lecture des rapports d'exploitation montre que des passages stériles ont succédé à des parties très riches, l'irrégularité se manifestant en direction comme en profondeur.

Si à l'ouest de « Les Châtelets », les affleurements deviennent impossibles à suivre par suite de la végétation, de l'état d'altération de la granulite, mais surtout de la présence d'une couche d'alluvions anciennes qui en ce point empiète sur la roche ⁽²⁾, il ne faut pas conclure qu'ils doivent s'y terminer; on retrouve plus au Nord des filons ayant sensiblement la même direction qui sont évidemment, soit le prolongement des filons exploités à la Villeder, soit d'autres appartenant au même faisceau. On peut citer du Nord au Sud :

1° Au nord-ouest de « Les Châtelets », une carrière assez importante, exploitée pour granulite, fait voir un filon de quartz avec mispickel. Dir. : 31° O; Pl : 70° O. Ce filon ne peut toutefois, étant situé un peu à l'Ouest, être le prolongement d'un de ceux de la Villeder, mais il appartient évidemment au même faisceau.

2° On a signalé au Moulin de Bobuay un filon à peu près parallèle à ceux de la Villeder ⁽³⁾. Il m'a été impossible de le retrouver. Ce filon pourrait être le prolongement d'un de ceux de la Villeder.

3° Affleurement de quartz à 0^{km}, 1 O de Tréguguet.

4° Au nord-nord-ouest de Tréguguet au point où la pente devient rapide pour descendre dans la vallée du ruisseau, des tranchées de recherches ont mis à jour 2 filons parallèles

(1) Pour la description de la cassitérite et sa disposition dans les filons, voir le Chapitre : *Minéraux*.

(2) Celles-ci s'étendent un peu plus loin à l'Ouest que ne l'indique la carte géologique. On en retrouve de plus quelques lambeaux isolés sur la granulite au nord de « Les Châtelets ».

(3) Indiqué sur la carte géologique 22° O.

entre eux, 35° O, à plongement considérable vers l'Ouest ayant chacun 0,90 environ de puissance ; ils paraissent très réguliers, sont facilement visibles, parce que déchaussés par les fouilles, mais ne peuvent être suivis que difficilement vers le Sud où on les perd au milieu des bruyères et des ajoncs, et pas vers le Nord, où ils disparaissent dans la vallée cultivée. Lorsque, après avoir traversé les deux cours d'eau, on gravit la pente opposée, on se trouve sur le schiste, par suite en pleine végétation ; le sol couvert de pâtures ne peut être étudié que dans les chemins creux ; dans l'un deux, à 1^{km} E de Poudelan, se voient de grosses veines de quartz représentant sans doute l'éparpillement d'un filon.

5° Si alors on se dirige vers l'Ouest pour retrouver la granulite, on rencontre autour de Poudelan plusieurs excavations remplies d'ajoncs dans lesquelles il est impossible de pénétrer. Au bord de certaines d'entre elles, situées au nord-nord-ouest du village, on distingue nettement un filon de 0,50 environ. Dir. : 31° O, Pl. : 50° à 60° O ⁽¹⁾.

6° Au nord-ouest du village, des excavations permettent de reconnaître plusieurs filonnets. Dir. : 21° O, Pl. : 65° environ O.

7° Plus au Nord, on rencontre de nouveau des fouilles impénétrables remplies d'ajoncs dans le voisinage desquelles des affleurements indiquent la présence de filons assez puissants, mais que l'on ne peut mesurer.

8° A 0^{km},5 N-O de Poudelan, on trouve sur la lande une quantité d'énormes blocs de quartz ; ils sont encore alignés, attestant l'existence de très puissants filons ou d'un important faisceau. La disposition des blocs est telle qu'à première vue on pourrait ne pas savoir laquelle des deux directions rectangulaires indiquées par ces alignements est celle du ou des filons ; mais lorsque l'on réfléchit aux directions relevées à

(¹) La carte géologique indique un filon parallèle à ceux de la Villeder.

quelques centaines de mètres au Sud, près de Poudelan, on reconnaît qu'il s'agit d'un alignement N 20° à 35° O. Les affleurements relevés au nord-ouest de Poudelan, ainsi que les importants débris indiquant un faisceau de gros filons de 20^m environ de largeur, se trouvent sur le prolongement des filons de la Villeder, dont ils représentent à mon avis la suite.

9° Tous les environs du Moulin des Placelles, du Moulin de Melan (cote 155), de la cote 157, sont semés de blocs de quartz de plusieurs mètres cubes, leur dissémination étant telle, et leur nombre si considérable, qu'on ne peut en déduire des directions filoniennes. Toutefois, à 1^{km} O de « P^t Lezer-nan », là où les blocs de quartz sont assez rares, un affleurement bien net et que l'on peut suivre en direction pendant quelques mètres, indique un filon que l'on retrouve facilement au Nord, de l'autre côté de la vallée. Par assimilation aux autres filons de la région dont j'ai pu relever les directions, je considère tous ces blocs comme provenant de filons N quelques degrés O; mais on a sans doute une disposition analogue à celle rencontrée à la mine : un faisceau dont les éléments principaux sont réunis par des veines obliques sur la direction principale.

2. GROUPE DE PLINET.

Au sud des filons de la Villeder, dans le schiste, on a relevé dès le commencement de l'exploitation plusieurs filons sur lesquels on n'a d'ailleurs pas poursuivi les travaux, et qui donnent lieu à des renseignements un peu contradictoires quant à leur direction.

M. Bronne signale près de Plinet un filon bien minéralisé, visible dans le chemin creux de Plinet à la Villeder, plongeant de 60° à 70° à l'Ouest et parallèle à ceux de la Villeder dont

il ne serait toutefois pas le prolongement se trouvant plus à l'Ouest. C'est alors que l'on avait foncé le puits dit « de Plinet ». Dans un rapport ultérieur, Fuchs indique l'existence de plusieurs filons entre la vieille fonderie et Plinet, le principal d'entre eux, visible dans un chemin creux et un puits amorcé, aurait une direction N 45° E et serait un croiseur (1).

Tout travail ayant été abandonné sur ces filons les descriptions postérieures ne font que répéter ces renseignements, sans ajouter de précisions ni donner de mesures nouvelles. J'ai retrouvé l'orifice du puits de Plinet, mais il n'existe plus aucun moyen de descente et il est certain que la boue produite par les schistes empêche de voir quoi que ce soit. Je n'ai donc pu voir le filon principal de Plinet; mais à 0^{km},5 O-N-O du village de ce nom, un filon visible au fond d'une petite excavation creusée dans le schiste très micacé, donc très voisine du contact avec la granulite, est dirigé sensiblement N-S magnétique. A une centaine de mètres de là en continuant toujours O-N-O, un filon de 15^{cm}, encaissé dans la granulite altérée, affleure dans un chemin; il est N-S magnétique quelques degrés O. Il faut réfléchir que c'est M. Bronne lui-même qui a fait les mesures dans le puits de Plinet foncé en 1853 et effectué des recherches sur ces filons, il y a donc lieu de croire ses mesures plus exactes que celles de ceux qui n'ont pu les faire qu'à la surface (2). Aussi j'admets que ce filon est parallèle à ceux de la Villeder. Le groupe de Plinet se rattache au faisceau de la Villeder, c'est la suite de filons situés un peu à l'ouest de ceux exploités à la mine et tels que ceux de « Les Châtelets » par exemple.

(1) Bronne, dans son rapport, est un peu porté à insister sur les avantages de la mine, il n'aurait pas manqué de signaler un filon N-E.

(2) Le rapport de Bronne est de 1856, celui de Fuchs est de 1880. Le puits était abandonné depuis longtemps.

Leur remplissage est identique, le quartz présente les mêmes caractères et l'on y trouve d'après Bronne pyrite et cassitérite ⁽¹⁾; la seule différence intéressante est l'abondance de la tourmaline, rare à la Villeder; nous expliquerons plus tard les causes de sa présence.

3. GROUPE DE MAUPAS.

Dès 1846 des tranchées de recherches permirent de reconnaître l'existence de plusieurs filons au lieu dit « Maupas » à 1^{km},3 O-S-O de Guillac et 0^{km},5 E de Pougentin, à l'angle nord-est du massif granitique, près du contact avec le schiste. On signale à la même époque des filons, toujours en bordure du massif, 0^{km},4 plus au Sud à environ 0^{km},1 N-O du hameau appelé « Le Lédô »; et un peu plus à l'Ouest, à 0^{km},5 S de Maupas, près du château du Gras.

Il est facile de constater la présence de filons dans les environs du château du Gras. Toute la hauteur entre la route (Quily à Saint-Servant) et le Moulin des Placelles, comme d'ailleurs la région décrite plus haut dont elle n'est que la continuation, est semée de gros blocs de quartz blanc indiquant la présence de nombreux et importants filons. A l'Est de la route, on retrouve la trace de plusieurs fouilles et les affleurements quartzeux continuent. La disposition des blocs épars étant moins confuse, on peut relever une direction de 20° à 35° O.

Au pied et à l'est de la croupe sur le haut de laquelle se trouve la propriété du « Gras » on trouve l'orifice des anciens puits du Lédô, il y en a deux à quelques mètres l'un de l'autre qui ont permis de bien spécifier plusieurs filons 20° O

⁽¹⁾ SnO₂ terne et compact, assez abondant; on aurait tiré du puits de Plinet des blocs de 8 à 10^{kg}.

encaissés dans le granite. Si alors on se dirige vers le Nord, on arrive rapidement aux carrières de Maupas. Ce sont des exploitations fort peu actives, situées sur le flanc Est de la cote 97. On voit là, avec une netteté parfaite toute une série de filons parallèles entre eux de direction générale 35° O, plongeant à l'Ouest sous un angle de 45° à 55° . Ce sont des filons sans grande puissance de 0,04 à 0,50 qui se serrent localement pour reprendre un peu plus loin leur largeur primitive ; ils sont bien continus mais non réguliers. On en voit une quinzaine mis à nu dans la carrière, d'autres encore affleurent sur la pente de la cote 97 au-dessus de l'endroit exploité, on a donc affaire à un véritable faisceau auquel on a, comme à la Villelder, appliqué le terme de stockwerk. Sa direction est un peu plus inclinée vers l'Ouest qu'à la Villelder et également très voisine du contact avec le schiste qui est caché par les alluvions de l'Ouest.

Les recherches effectuées sur ce groupe montrent qu'au Nord les filons se terminent en pénétrant dans le schiste ⁽¹⁾ (tout au moins ils disparaissent sous la terre végétale) au pied de l'escarpement que forme en ce point le granite. Vers le Sud, ils semblent se coincer assez rapidement après une quinzaine de mètres. On en a conclu qu'il n'y avait là qu'un amas accidentel ; il est vrai que l'on n'a pas de fractures comparables aux puissants filons de la Villelder, mais il serait plus juste de faire remarquer que l'on a affaire à une cassure qui, au lieu d'avoir donné naissance à une fente bien ouverte et se prolongeant sur une longue distance, a provoqué la formation de fissures qui ne se coincent que pour reprendre aussitôt plus à l'Est ou plus à l'Ouest, la continuation Sud

(1) A l'est de Trévelot sur la pente de l'extrémité nord de la cote 97, on peut observer un beau filon bien régulier 21° O avec un plongement considérable et 0,80 de puissance.

du faisceau de Maupas étant représenté par les filons du Lédô et ceux du Gras.

A Maupas et au Lédô la minéralisation est comparable à celle de la Villeder avec mispickel plus abondant. Tous les filons décrits jusqu'ici : Plinet, Villeder, Tréguguet, Poudelan, Lédô, Maupas pour ne citer que les principaux, sont tous, si ce n'est en prolongement les uns des autres, du moins sensiblement parallèles entre eux et indiquent l'existence d'une vaste zone de fissuration Nord quelques degrés Ouest, s'étendant sur près de 2^{km} de large et 5^{km} de long, et ayant comme axe la ligne Plinet — Villeder — M^{lin} de Bobuay — M^{lin} des Placelles.

4. GROUPE DE POURMABON.

C'est en 1854 que des tranchées de recherche firent découvrir à Pourmabon (¹), dans le granite non loin du schiste, deux filons bien minéralisés; ils sont indiqués par Bronne à peu près N-S magnétique (en 1856) avec un plongement de 70° O. L'un se trouvait au sud de la ferme de Villebourde sur la rive droite du ruisseau et avait une puissance de 0,30; l'autre, sur la rive gauche, se rencontrait en allant sur Pourmabon, sa puissance était de 0,08. Je n'ai pas eu l'occasion de mesurer moi-même ces deux filons. La carte géologique indique dans la même région mais quelques centaines de mètres plus à l'Ouest un filon 25° O.

5. GROUPE DE LA VILLE-AU-LAU.

La Ville-au-Lau est un village situé à 1^{km},5 S-E de Guehenno, au bord de cette bande de micaschiste qui traverse la granulite; Bronne y signale un filon à peu près

(¹) Au Nord et en bordure du massif un peu à l'ouest du point où, d'après la carte, le micaschiste remplace les schistes.

N-S magnétique mais un peu incliné à l'Ouest ⁽¹⁾ encaissé dans la granulite à proximité du micaschiste. Sa puissance était de 0,15 à 0,30, et malgré sa minéralisation assez bonne, les deux puits que l'on avait foncés furent abandonnés.

Ce filon étant dans le schiste et dans une vallée, il s'ensuit que les cultures rendent les observations en surface très délicates. Or très près du point où la route de Guehenno à Billio entre dans le schiste, on rencontre successivement en descendant la pente sur la rive gauche du ruisseau : 1° granulite ; — 2° schiste avec gros filon de quartz ; c'est un bloc évidemment en place, car on voit les feuilletts du schiste se charger de mica noir à son voisinage, mais on ne peut faire de mesures, la suite du filon n'étant pas visible ; 3° granite ; — 4° schiste. De l'autre côté de la bande schisteuse, on trouve également des blocs de quartz. De là sans doute l'indication de la carte géologique qui marque dans cette région deux filons 60° O et 71° O ; ce sont les directions que l'on pourrait obtenir si l'on suppose que les quartz du bord Ouest de la bande schisteuse, appartiennent au même filon que certains de ceux rencontrés sur le bord Est ; mais on peut répéter ici ce qui a été dit plus haut à propos du filon de Plinet : Bronne n'avait aucun intérêt à cacher l'existence de filons plus ou moins voisins de la direction E-O qu'il désirait rencontrer ; or les mesures qu'il donne, il les a relevées à la suite de travaux effectués en profondeur, avec galeries d'allongement et recoupes, il y a donc lieu de les croire exactes et de considérer ce filon comme N 20° O environ. Il aurait d'ailleurs suffi, au lieu de réunir par des filons supposés des blocs donnant les directions ci-dessus signalées, d'admettre que l'affleurement E du filon situé le plus au Sud, et l'affleurement O du filon

(¹) On peut donc le considérer comme voisin de 20° O.

situé le plus au Nord, appartenait à la même fracture pour obtenir une direction N 21° O très plausible.

Bronne signale également plus au Nord des filons près la Ville-au-Feu (indiqués N 52 O sur la carte géologique et de gros filons encore plus au Nord près de la Ville-es-Métayer. On y rencontre en effet de volumineux blocs de quartz.

A ces filons que je n'ai divisés en groupes que pour faciliter l'exposé, et afin de les réunir autour de ceux qui avaient frappé les premiers exploitants, on peut encore en joindre quelques autres qu'il m'a été donné de rencontrer, et dont les directions où la nature méritent discussion.

J'ai fait remarquer que la carte géologique a indiqué aux environs de Pourmabon un filon 25° O; plus à l'Est, entre Trégranteur et l'Hôpital-au-Robin, elle en indique deux autres 26° O; cela tendrait à prouver que les filons visibles au Nord du massif sont plus inclinés à l'Ouest que ceux de sa région Est. C'est ce que l'on observe en effet, mais de plus on constate dans ces parages de grands écarts entre les directions de filons très voisins.

Si, partant du M^{lin} de Tréfarouet (cote 146), on marche vers l'Ouest, on rencontre dans les grandes carrières de l'Hôpital-au-Robin une grosse veine quartzreuse de direction 45° O. Mais c'est à près de 2^{km} de Pourmabon, au sud de la Ville-Halais, qu'on observe facilement dans le granite de la lande, en remontant la pente sur la rive sud du ruisseau, des filons encore plus inclinés à l'Ouest sur lesquels on peut faire les mesures suivantes ⁽¹⁾:

Direction.....	65 O	E-O	65 O	65 O
Puissance.....	2 à 8 ^{cm}	2 ^{cm}	4 ^{cm}	plus de 1 ^m

(¹) Voir, pour la discussion de l'origine de ces veines, p. 39.

De l'autre côté du ruisseau, un gros filon, dans le schiste très près du contact avec le granite, a une direction 40° O, et plonge presque verticalement. Dans la carrière située à 500^m N-O de Pourmabon, de petites veines de quartz ont des directions variant depuis 60° O jusqu'à E-O.

D'autres filons dirigés plus ou moins E-O existent aussi au sud du massif. Dans la région de Sérent (6^{km} S-O Roc-Saint-André) on a signalé un E-O auquel on semblait attacher une grande importance. Bronne, le premier, indique près de Bréman, commune de Sérent, un filon E-O de quartz bleuâtre contenant Sn O₂, enclavé dans le granite, d'une puissance de 0,15, sans spécifier qu'il ait entrepris là le moindre travail de recherche. Fuchs, dans son rapport de 1880, cite également près de Sérent un filon de quartz bleuâtre de 0,15 de puissance, E-O (sans spécifier N vrai ou magnétique), bien minéralisé. De Limur parle de plusieurs filons dans les environs de Sérent sans en mieux préciser l'emplacement, il paraît d'ailleurs se reporter à des indications antérieures en disant : « On connaît et on peut suivre. » Il ajoute que le quartz de ces filons n'est pas fétide. En réalité, Bronne, seul, paraît avoir vu ce fameux filon E-O que l'on a souvent recherché en vain dans l'espoir que sa richesse serait considérable, par assimilation avec ce qu'on observe en Cornouailles, et les efforts faits pour le retrouver par les ingénieurs qui se trouvaient à la Villeder lors de la dernière période d'exploitation sont demeurés vains.

M. Michel, parcourant la route de Sérent à Plumelec, a remarqué dans les talus de la route en tranchée dans la granulite à 0^{km},3 N-E de Bréman, des filons voisins de cette direction E-O et a eu l'obligeance de me les signaler. On voit là en effet, grâce à la tranchée de 4^m de profondeur, la coupe de plusieurs filons; j'ai relevé les nombres suivants :

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Dir ...	40° E	10° E	35° E	25° E	N-S	20° E	14° E	4° E
Pl	vertical	80° O	80° O	80° O	80° O	70° O	32° O	60°-85° O.
Puis...	0, 20	0, 025	"	"	"	0, 06	0, 03	0, 005 0, 03

Ces filons sont encore loin d'être des E-O. Toutefois, il est probable que le terme E-O s'entendait en partant du Nord magnétique; le filon le plus important serait alors 55° E. Le quartz dont son remplissage est formé n'est pas blanc laiteux mais grisâtre, ce qui me porterait à croire qu'il s'agit peut-être bien là du filon signalé par les auteurs ci-dessus cités ⁽¹⁾; mais on est forcé de remarquer que le qualificatif de E-O était quelque peu exagéré ⁽²⁾. Il était malgré tout intéressant de savoir si l'on a affaire à un filon bien caractérisé, à un accident passager ou à une déviation locale.

C'est dans ce but que j'ai essayé, ne pouvant suivre les filons, de recueillir aux environs d'autres indications. On peut, au N-E du point où la route est en tranchée et à peu de distance de celle-ci, reconnaître diverses fouilles. Dans l'une d'entre elles, de 6^m environ de profondeur, faite pour se procurer des matériaux de construction, un petit filon de quartz est dirigé 35° O. Plus loin, au N-E de Le Glétin, à 50^m O de la route, un filon de quartz fétide à éclat gras a été exploité pour empierrement. Tout le remplissage a été enlevé sur une dizaine de mètres de longueur et 5^m de profondeur; les épontes ont été respectées. La direction moyenne de ce filon est 30° à 25° O avec un plongement voisin de la verticale; il présente des serremments et élargissements successifs et sa puissance maxima est de 1^m. Enfin, au N-O de ce même village, se voient plusieurs excavations peu profondes dont quelques-unes mettent à nu de volumi-

(1) Je n'y ai pas trouvé trace de minéralisation.

(2) D'autant plus que tous les autres filons sont moins inclinés vers l'Est.

neux blocs de quartz, sans qu'on puisse constater aucune continuation en profondeur; ils proviennent sans doute de la destruction d'un filon puissant dont les racines sont dans les environs, mais l'impossibilité d'accomplir de véritables travaux de recherches m'a empêché de pouvoir préciser la direction que celui-ci devait avoir. Le quartz de ces gros blocs est d'un blanc laiteux mais sans éclat gras, peu ou pas fétide, et paraît tout à fait stérile ne présentant même pas de mica. Dans les environs de ces fouilles on peut voir au milieu de la granulite un affleurement de quartz contenant des débris de la roche encaissante. D'après la forme allongée de la partie qui affleure et la direction des lentilles granulitiques enclavées, il semble légitime d'attribuer au filon dont une partie apparaissait ainsi, une direction N 20° à 30° O.

De ces renseignements on peut conclure :

1° Que les filons de direction N-S à N 40° E parallèles à ceux visibles dans la tranchée de la route, paraissent ne pas exister dans les environs ou tout au moins ne pas avoir une grande importance.

2° Que la direction N 30° à 35° O est par contre bien définie.

Dans ces conditions, la présence de fractures importantes voisines de la direction E-O ou même N 40° E me paraît incertaine.

Je viens de citer au N-E de Le Glétin un filon assez important (puisque sa puissance varie de 0^m,30 à 1^m) et dont la direction a pu être relevée avec certitude; il existe, très près de là, les traces d'une autre fracture N quelques degrés O. A l'Est de Le Glétin et au bord de la route, on peut remarquer une formation détritique présentant les éléments du granite et des rognons de quartz en cristaux bacillaires rayonnés. Plus à l'Est, comme plus à l'Ouest, la granulite altérée plus ou moins sableuse et rubéfiée, mais non rema-

niée apparaît. Dans les environs de Lizio, notamment à 0°,5 O « Les Déserts » et au Nord de Pourbelan, on trouve dans des excavations des blocs de ce quartz bacillaire ayant jusqu'à 0^m,50 de diamètre; ils se trouvent au milieu d'une terre argileuse blanchâtre micacée semblant provenir d'une granulite décomposée. D'autres excavations (O « Les Déserts », S du M^{lin} de la Cr^x Martin, O Pourbelan) montrent la granulite altérée mais non remaniée. Or si l'on indique sur la carte les divers points où l'on rencontre ces quartz bacillaires (y compris celui S-E Le Glétin), on constate qu'ils se trouvent sur une même droite de direction N 15° O. Cette bande, nettement limitée en largeur, peut être suivie vers le Nord : j'ai retrouvé la même formation au S-E du M^{lin} de la Chenaie-Morio, exactement sur son prolongement, et je ne doute pas qu'elle se continue plus loin encore.

Beaucoup plus à l'Ouest, à l'angle S-O d'un bois de pins situé sur le bord et du côté Sud de la route, à 0^{km},5 O de Trévéra (1^{km},5 O Billio), un important filon encaissé dans le schiste est travaillé pour quartz d'empierrement; ses caractéristiques sont : Dir : 40° E; Pl : vertical; Puiss : plus de 2^m. Il présente de la tourmaline et de petits nids d'argile blanche; son quartz est blanc, non fétide et sans éclat gras. La nature de ce dernier, l'absence absolue de toute trace de minéralisation et le fait qu'au contact, les schistes ne paraissent pas avoir subi de modification sérieuse me font croire que ce filon, d'ailleurs très irrégulier (¹), est beaucoup plus récent que ceux étudiés jusqu'ici.

Pour terminer cet exposé, je signalerai, sans pouvoir malheureusement donner sur lui d'indications précises, un filon

(¹) Il se coince rapidement et complètement. D'autres amas de quartz du même genre qui se trouvent à l'est de Kerhello représentent peut-être son prolongement.

sur lequel mon attention a été attirée par des morceaux de quartz ramassés dans des tas de cailloux destinés à l'empierrement de la route qui passe au sud du M^{lin} de la C^{re} Martin. Je n'ai pu le trouver, mais, d'après les renseignements que j'ai réunis depuis, il serait visible dans une carrière dite « du Redigaux » entre les villages nommés Le Zoir et Pourbelan. Les échantillons que j'ai ainsi recueillis sont formés de quartz en cristaux de petite taille et enchevêtrés. Ils sont parsemés d'une grande quantité de petits amas de minerai : blende jaune (mouches de 0^m,002 de diamètre), pyrite de fer et hübnerite décrite page 77.

II. — HYPOTHÈSES ÉMISES SUR LA FORMATION DES FILONS.

Quelques-uns des auteurs qui se sont occupés de la mine de la Villeder ont exposé leurs idées sur la formation de ces filons et sur leur remplissage.

Daubrée cite la Villeder parmi les gîtes qu'il passe en revue ⁽¹⁾. Il croyait à l'existence d'un filon de 8^m à 10^m de puissance, et constate : 1° Abondance de mica « argentin » ; 2° Si pas de mica, pas Sn O² ; 3° Tourmaline dans filon augmentant de plus en plus au Nord ; 4° Présence de mispickel, émeraude, argile.

Il considère la réaction fournissant Sn O² par la décomposition de fluorures gazeux par la vapeur d'eau au rouge comme applicable, et se borne à indiquer que le plus souvent les filons d'étain ont pour origine des fissures de retrait, sans spécifier si à son avis telle est celle des filons de la Villeder.

Bronne croit également que l'origine de la cassitérite doit être cherchée dans les réactions indiquées par Daubrée, mais n'insiste d'ailleurs pas sur ce sujet.

(1) Gisement constitution et origine des amas de minerai d'étain (1840).

Pour de Limur, le remplissage des filons se serait effectué en plusieurs fois, il pense que les dépôts se sont produits par élargissements successifs des filons. A l'origine on aurait eu de simples fissures peu profondes et distribuées en réseau. De premières émanations les auraient remplies de : mica, mispickel, émeraude, étain oxydé en grands cristaux isolés, avec un peu de quartz fétide. Puis, « les dislocations de l'écorce terrestre » auraient provoqué l'élargissement des fissures, la formation des filons simples en profondeur, et la production de nouvelles émanations auraient donné naissance à la cassitérite grise et opaque déposée aux épontes et au quartz qui forme la masse des filons. Ce savant appuie surtout son opinion sur les différences de constitution et de minéralisation selon qu'on étudie les filons en dessous ou en dessus de 40^m.

M. Lodin (1884) émet l'hypothèse que le remplissage des filons de la Villeder a dû se faire par la voie hydrothermale. Il fait remarquer :

1° Que la formation de la cassitérite par la réaction de Daubrée ne permettant aucun transport de l'oxyde d'étain exigerait qu'elle se produise régulièrement sur une grande étendue.

2° Que la roche ne paraît pas avoir subi l'action d'un acide (HF et HCl) elle est en profondeur solide, au contact même des filons.

3° Que l'association de la cassitérite avec les minéraux fluorés n'est pas frappante et que, notamment, s'il est vrai qu'on rencontre la tourmaline, celle-ci ne se trouve généralement pas dans les mêmes filons que l'oxyde d'étain.

4° Que le quartz à inclusions liquides est contemporain de la venue de Sn O_2 et qu'il ne peut s'être formé au rouge:

De ce qu'on trouve la cassitérite sur blende et mispickel

non altérés, il conclut que l'étain ne pouvait se trouver dans la solution à l'état de perchlorure ou de fluorure, car ces corps attaquent un peu le mispickel et très nettement la blende, et se borne à conclure qu'en tous cas, à son avis, il n'existe pas de différence tranchée entre le gîte d'étain de la Villeder et les autres gîtes métallifères.

Je citerai enfin l'opinion que j'ai entendu exprimer par un ingénieur des mines des plus distingués, qui a suivi de près les travaux de la Villeder pendant la dernière période, et dont la compétence en matière d'exploitation stannifère ne peut laisser aucun doute. Pour lui, les grands filons rencontreraient en profondeur des veines E-O qui seraient les véritables chemins d'accès de l'étain. Les principaux amas de cassitérite rencontrés durant l'exploitation se seraient trouvés aux points de rencontre de veines voisines de la direction E-O remplies d'un quartz un peu différent. Ces veines étaient minces, se coinçaient rapidement et ne pouvaient être suivies, mais l'ingénieur en question n'en restait pas moins convaincu de l'existence de fractures E-O, et la rencontre d'un filon de feldspath de 0,75, d'une direction voisine de cette dernière, lui faisait maintenir ses suppositions qu'il ne put autrement vérifier avant la fermeture de l'exploitation ⁽¹⁾.

Les opinions émises sont donc :

1° Décomposition de fluorure et chlorure d'étain par la vapeur d'eau au rouge, dans les fissures de retrait de la granulite.

2° Filons formés en deux fois : *a*. Fissures superficielles en réseau; *b*. Élargissement par suite d'un mouvement de terrain. Remplissage différent pour les deux périodes, mais toujours formé par émanations gazeuses.

(¹) Ce même ingénieur a fait rechercher le fameux filon E-O de Sérent, mais ses efforts n'ont pas été couronnés de succès.

3° Pas d'opinion sur la formation des fractures. Remplissage par voie aqueuse sans détermination de la nature probable de la solution.

4° Filons à peu près stériles, enrichis localement à leurs épontes par la rencontre de croiseurs E-O.

Les réactions proposées par Daubrée, pour expliquer la formation de l'oxyde d'étain dans la nature, sont très séduisantes par leur simplicité et paraissent devoir d'autant plus être considérées comme répondant à la réalité, qu'on signale habituellement l'existence dans les gîtes stannifères de minéraux fluorés comme la tourmaline et la topaze, souvent intimement unies dans les filons avec le minerai d'étain. La modification profonde des épontes avec altération ou disparition des feldspaths par formation de roches spéciales (greisen, zwitter), ou la présence de roches à feldspaths kaolinisés, peuvent paraître de sérieux arguments en faveur de la possibilité d'intervention de fumerolles susceptibles de donner naissance à des acides énergiques. C'est pourquoi les premiers observateurs, pénétrés de l'ingéniosité de ces explications alors nouvelles, ont immédiatement songé à en voir à la Villeder une éclatante confirmation, puisque l'examen de la superficie permet de reconnaître immédiatement, sur les bords d'un massif granitique, une série de filons et veines quartzieuses en réseau au milieu d'une granulite entièrement sableuse et pourrie, et qu'au moins en certains points, la tourmaline est abondante.

Les premiers travaux effectués ne pouvaient que les confirmer dans leurs suppositions; ils permettaient de constater que l'altération de la granulite est toujours aussi accentuée au fond des tranchées et puits de recherche, tandis qu'à peu de distance vers l'Ouest la roche apparaît fraîche près de la surface. Plus tard, les travaux atteignirent une roche

plus dure, mais contre et surtout au toit des filons, elle est encore un peu altérée ⁽¹⁾, aussi citait-on toujours l'altération de la roche comme une des caractéristiques du gîte. Toutefois, Bronne signale incidemment dans son rapport la résistance de la roche encaissante. Par exemple, parlant des fissures présentées par le quartz du filon dans sa partie haute, il écrit : « Le granite est en même temps très tendre, plus bas ces fissures disparaissent, le filon devient plus compact et le granite beaucoup plus dur. » La vérité est que très rapidement au-dessous de 40^m, la roche acquiert de la consistance et devient bientôt parfaitement résistante ⁽²⁾; il suffit, pour s'en convaincre, d'examiner les déblais de l'exploitation, formés, en dehors du quartz, de débris de granite tout à fait frais. On arrive même au voisinage du puits Saint-Michel, à un granite gris bleu d'une dureté remarquable. Le meilleur exemple de la solidité de la roche qu'on puisse donner est le suivant : lorsqu'on continua le fonçage du puits Saint-Michel au delà de 73^m, afin de protéger les ouvriers du fond contre les accidents, on laissa un massif de protection, sous forme d'une forte saillie surplombant le nouveau puits foncé en prolongement de l'ancien, et destinée à le recouvrir.

Étant donné l'extension des travaux aux niveaux 56 et 73 et l'approfondissement dont il est question ci-dessus, on ne peut nier la parfaite fraîcheur de la roche en profondeur, non seulement au voisinage des filons, mais encore à leur

(1) On lit dans le rapport des Ingénieurs des mines sur l'opportunité de la concession : « Quant au granite, il devient dans les profondeurs plus dur que près de la surface (niv. 56). Néanmoins, le long du filon n° 1, on observe encore une espèce de salbande altérée qui est assez tendre. »

(2) Sans qu'il y ait, d'une façon certaine, relation entre les différents faits, on note : 40 premiers mètres : granulite décomposée, veines de quartz couchées, quartz filonien fissuré, gros cristaux SnO₂ aux épontes ; plus bas : granulite progressivement plus dure, filons simples non fissurés, SnO₂ en amas aux épontes.

contact et même dans leur intérieur lorsque des morceaux de la roche des épontes s'y trouvent engagés. Mais alors à quoi est due l'altération si complète de la partie supérieure? Est-ce aux acides HCl et HFl mis en liberté lors du dépôt de SnO_2 qui, pour une raison d'ailleurs inconnue, n'auraient attaqué la roche qu'au voisinage de la superficie? Est-ce à quelqu'autre cause d'origine profonde, ou au contraire est-elle due aux agents atmosphériques? il s'agit alors de le démontrer et d'expliquer pourquoi, un peu plus loin, la roche se rencontre fraîche presque au contact du sol; il est évident que c'est là précisément où se trouve le faisceau filonien que l'altération intense, rendant la roche presque parfaitement sableuse, s'étend à une profondeur relativement considérable.

En faveur de l'hypothèse d'une altération par fumerolles acides, on peut citer les faits suivants :

- 1° L'altération est intense, et s'étend à tout le faisceau.
- 2° Elle n'est visible que dans la région filonienne.
- 3° L'altération a transformé les feldspaths en kaolin et ce minéral est fréquemment associé aux gîtes d'étain.
- 4° Il est vrai qu'en profondeur l'altération ne se manifeste plus que contre les filons, mais dans le célèbre gisement d'Altenberg en Saxe, la transformation en zwitter qui s'étend à presque toute la masse granitique à la partie supérieure du massif, ne s'observe plus, en profondeur, qu'au voisinage des filons. Il y a peut-être analogie.
- 5° Plusieurs rapports (Bronne, Fuchs) indiquent que le granite altéré est imprégné de minerai d'étain au voisinage des filons.

De sérieux arguments (*voir* p. 41) permettent toutefois de réfuter cette opinion; je montrerai plus loin que les eaux superficielles sont la cause de cette pourriture de la roche.

Ce sont les différents caractères présentés par les filons,

selon qu'on les étudie en dessus ou en dessous de 40^m, qui ont amené de Limur à supposer deux remplissages successifs, le second étant précédé d'une dislocation dont il ne précise pas la cause. Il est pourtant des faits qui permettent de ne pas croire à cette réouverture, et de penser au contraire que le remplissage a dû s'effectuer en une seule fois. Si les cristaux isolés de cassitérite de la zone superficielle et le quartz qui les contient avaient été produits lors d'un premier dépôt, tandis que le minerai trouvé plus bas et le quartz des gros filons réguliers en profondeur dataient d'une époque postérieure, ces quartz d'origines différentes devraient posséder chacun des caractères particuliers. On a, il est vrai, fait remarquer que le quartz du grand filon au-dessus de ce niveau de 40^m présente des fissures plus nombreuses qu'en profondeur, mais il est bien évident que ces fissures, ainsi que les fentes remplies d'oxyde de fer, n'existaient pas à l'origine, elles sont postérieures à la formation du filon et n'ont par conséquent pas de rapport avec sa formation; on constate par contre qu'un morceau de quartz, qu'il soit pris à la surface ou en profondeur, présente identiquement les mêmes caractères, et l'examen microscopique ne révèle aucune différence, soit dans la taille ou l'enchevêtrement des cristaux constituants, soit dans la dimension, la fréquence ou la nature des inclusions.

De Limur insiste sur le fait que, dans la partie superficielle, on trouve des cristaux isolés, tandis qu'en profondeur le minerai est rassemblé en masses compactes aux épontes. Mais les cristaux isolés se trouvant au voisinage de la surface à peu près dans toute la masse du filon, il faudrait en conclure que, lors du premier remplissage, ces fractures étaient déjà grandes ouvertes, or, il n'existe aucune solution de continuité entre les parties hautes et basses du filon, le quartz ne forme qu'une masse depuis la surface jusqu'au point le

plus profond qui ait été atteint. Il ne faut d'ailleurs pas perdre de vue que les cristaux isolés se trouvent encore en plein filon au-dessous de 40^m ⁽¹⁾; s'il n'en est guère question, c'est qu'à cette profondeur les concentrations sur les parois étant de beaucoup la partie la plus intéressante au point de vue industriel, on dédaignait un peu le minerai noyé dans le quartz. Non seulement ces cristaux isolés existent encore, mais ils ne sont pas sensiblement moins nombreux et moins volumineux (les plus gros cristaux recueillis au voisinage de la surface se trouvaient non dans le quartz, mais contre les épontes).

L'identité absolue du remplissage quartzeux des filons, à quelque profondeur qu'on les étudie, a d'ailleurs été bien mise en relief par les travaux qui ont eu lieu postérieurement à l'époque où l'opinion ci-dessus avait été émise; mais l'idée d'une venue riche en SnO² et postérieure à celle qui aurait fourni les cristaux nets et isolés noyés dans le quartz devait être reprise. La quatrième des hypothèses que je passe en revue suppose en effet que le minerai compact des épontes serait en relation d'origine avec des fractures E-O. Peut-être faut-il voir là une conséquence de cette idée préconçue que la direction E-O devait être privilégiée, parce qu'elle était celle des riches filons de Cornouailles. Si l'on pense que les filons stannifères, qu'ils soient situés en Cornouailles ou en Bretagne, sont dus à des phénomènes de retrait par refroidissement, ou d'effondrement provoqués par le voisinage d'un sol schisteux peu résistant, il est bien évident que ce sont là des accidents qui ne peuvent répondre à aucune règle et ne

(1) Il suffit de chercher dans ces grands amas de quartz brisé, résidus des usines de préparation mécanique et provenant en grande partie des niveaux 56 et 73 pour trouver des mouches de cassitérite que l'on peut vérifier être des fragments de cristaux nets.

doivent pas dépendre d'une direction plutôt que d'une autre. Si au contraire, et l'on verra plus loin que telle est mon opinion, on croit qu'ils ont été la conséquence d'efforts orogéniques, il faut avouer qu'à la Villeder les cassures E-O reconnues sont bien rares, ne sont pas particulièrement minéralisées et paraissent même souvent accidentelles. Quant aux veines voisines de cette direction, se traînant sur les filons N-S et au voisinage desquelles se trouvaient les plus beaux amas de minéral, elles sont simplement, sans doute, comparables à ces multiples fissures qui réunissent entre eux les filons, et c'est fréquemment que l'on constate dans d'autres exploitations l'existence de parties riches aux points de croisement ou de rencontre. Si ces veines avaient eu quelque importance, elles auraient pu être suivies, ce qui n'a pas été le cas, et qui conduit bien à penser que ce n'était là que des fentes d'importance secondaire.

Le filon feldspathique plus puissant et plus régulier, qui a été signalé en profondeur, peut-il être considéré comme indiquant l'existence possible d'autres E-O, je ne le pense pas. Les fentes remplies par le feldspath ou plus souvent par une pegmatite à éléments assez volumineux étant assez fréquentes dans le massif, j'ai observé de près toutes celles qu'il m'a été donné de rencontrer et en ai relevé les directions. Elles sont généralement remarquablement irrégulières, se coinçant souvent en direction comme en profondeur ; ailleurs encore, elles forment des amas. Le contact de la pegmatite est toujours intime avec la roche, et s'il est vrai que les épontes de ces sortes de filons se distinguent bien à l'œil, par suite de la variation de la teinte et de la grosseur du grain, on ne peut préciser le point exact où la pegmatite prend fin pour faire place à la granulite. Non seulement leur remplissage diffère de celui des filons quartzeux, mais il est évident que ce remplissage ne s'est effectué ni dans les mêmes conditions ni

sous l'influence des mêmes agents; alors que, comme nous le verrons en étudiant les modifications de la granulite au contact des filons, le mica noir est toujours absent des épontes, il semble au contraire qu'il y ait eu généralement concentration du mica noir sur les bords de la fissure remplie par la pegmatite. Ce phénomène est, par exemple, frappant sur les échantillons que j'ai recueillis à Maupas, au moulin de la Croix-Martin, etc. On trouvera d'ailleurs plus loin la description (p. 109) de ces pegmatites.

Afin de résumer les caractères différentiels présentés par les filons quartzeux et les filons de pegmatites, je les ai ci-dessous disposés en tableau :

	FILONS QUARTZEUX.	FILONS PEGMATIQUES.
Direction.	N-N-O, sauf exceptions.	O-N-O, s'ils sont continus. Souvent quelconque, ou variable dans un petit espace; se coincent fréquemment.
Plongement.	Constant.	Quelconque. Se coincent fréquemment.
Puissance.	Parfois considérable (plusieurs mètres).	Généralement 4 à 5 ^m , exceptionnellement plus de 10 ^m .
Allure.	Régulière.	Irrégulière. Amas.
Remplissage.	Quartz fétide.	Pegmatite riche en microcline ou microcline seul (s'il y a de l'albite elle est secondaire).
Contact avec l'éponte.	Net. Séparation généralement facile suivant une face plane.	Impossible à préciser d'une façon absolue quoique la grosseur du grain varie très rapidement.

	FILONS QUARTZEUX.	FILONS PEGMATIQUES.
Mica noir.	Toujours absent du filon et de ses environs immédiats. Verdit là où il commence à apparaître.	Existe à l'état frais dans le filon lui-même. Fréquemment plus abondant aux éponges que dans la roche normale.
Apatite.	Abondante dans la roche au contact. Fréquente dans le remplissage.	Dans la roche au contact n'est pas plus abondante que dans la granulite normale.
Tourmaline.	Très rare ⁽¹⁾ . Si elle existe, aiguilles très fines.	Fréquente en gros prismes, et antérieure à tous les autres éléments.
Microcline (roche des éponges).	Généralement très altéré, opaque en lames minces.	Un peu altéré. Parties très transparentes et parties troubles.
Plagioclases (roche des éponges).	Albite primaire peu altérée. Albite secondaire abondante et parfaitement limpide.	Notablement altérés. Gris en lumière naturelle. En lumière polarisée quelques paillettes de séricite (sauf en cas d'albitisation postérieure).
Altération générale de la roche au contact.	En profondeur roche modifiée mais non altérée.	Roche très légèrement altérée, peu modifiée si ce n'est la concentration de mica noir.
Minéralisation.	SnO_2 . FeAsS . ZnS^2 .	Généralement pas de minerai; exceptionnellement un peu de mispickel.

(¹) Filons dans le granite.

De l'ensemble de ces observations il me paraît résulter qu'il n'existe aucun rapport entre les filons quartzeux et les filons de pegmatite, et si, aux caractères déjà énumérés, on ajoute que ces derniers sont toujours interrompus ou même rejetés lorsqu'une veine quartzeuse les croise, on doit conclure qu'ils ne diffèrent pas de ceux que l'on rencontre dans tous les massifs granitiques. Ces pegmatites sont là, comme ailleurs, des dépôts effectués, sans doute par un procédé comparable à la sublimation, dans des fissures irrégulières formées à une époque très voisine de celle où la roche qu'elles affectent s'était consolidée, peut être même avant sa cristallisation complète. Elles ont été produites par le retrait de la masse, la poussée de la partie centrale encore liquide, ou, ce qui expliquerait la direction O-N-O commune à plusieurs d'entre elles, par l'effort orogénique qui avait provoqué l'intrusion de la masse granitique. Remarquons en outre que si l'on admettait ainsi que la direction E-O du filon de feldspath de 0,75^m fut celle d'une véritable fracture, il ne saurait y avoir aucune relation entre elle et la venue du minerai : puisque le filon de quartz n° 1 la recoupe, comment pouvoir admettre que ce dernier, qui lui est donc nettement postérieur, ait pu être enrichi par elle.

On peut penser que si l'existence de fractures E-O est, à la mine, incertaine et en tous cas sans importance, il n'en reste pas moins que j'ai moi-même signalé, dans l'exposé des principaux filons, certaines directions voisines de E-O au voisinage de Sérent, et non loin de la Ville-Halais. Mais ce ne sont là que des exceptions, exceptions dont plusieurs peuvent d'ailleurs s'expliquer.

1° Filons sud la Ville-Halais et N-O Pourmabon. — J'ai constaté dans cette région, ainsi que je l'ai exposé page 22, des filons donnant des directions de 60° O jusqu'à E-O; la direc-

tion 65° O est de beaucoup celle de la plupart des filons et des plus importants d'entre eux. Leur examen permet de constater un fait qui m'a paru, lorsque je les ai rencontrés, tout à fait curieux. Contrairement à tout ce que j'avais observé par ailleurs, on constate une formation pegmatique aux épontes; non pas une de ces roches très modifiées que je décrirai dans la suite, mais une véritable pegmatite à grands éléments, de telle sorte qu'en partant de l'axe, on peut distinguer: 1° quartz type ordinaire éclat gras; 2° pegmatite à grands éléments; 3° roche à grain normal mais à concentration de mica noir d'ailleurs en partie chloritisé; 4° roche normale.

Malgré son altération, l'augmentation du mica noir est frappante et l'on ne peut s'empêcher de remarquer immédiatement que, moins l'axe quartzeux, devenu il est vrai la partie la plus importante, il y a là des filons de pegmatite se présentant avec leurs caractères normaux.

N'est-il pas légitime de penser que ces épontes pegmatiques sont justement l'explication de l'orientation anormale de ces filons. Des fissures de cette direction se sont produites à l'époque où les émanations, encore toutes chargées des éléments du magma dont elles étaient issues, formaient ces pegmatites à grands éléments avec concentration de mica noir aux épontes. Plus tard, lors de la formation des véritables filons N-S (et il en existe non loin de Pourmabon) sur lesquels furent creusées des tranchées, ce qui a permis de les bien préciser (p. 20), la même cause qui, dans le voisinage, les provoquait, a amené la réouverture des fissures antérieures. Le nouveau remplissage fut cette fois quartzeux et en tous points comparable à celui de ces N-S avec altération de la biotite et du feldspath potassique.

2° Filons de Sérent. — Peut-être a-t-on affaire à une dévia-

tion locale provoquée par la grande proximité du schiste, mais ce qu'il y a de certain, c'est que, d'autres filons N plusieurs degrés E ne se rencontrent pas dans les environs; ils sont par conséquent à rattacher à un accident d'importance secondaire.

La dernière des hypothèses présentées sur le remplissage des filons de la Villelder est celle de M. Lodin. On verra plus loin que l'étude que j'ai faite de ce gisement, me conduit à penser que l'oxyde d'étain s'est déposé d'une solution, et je proposerai une hypothèse qui, concordant avec les observations faites, me semble devoir répondre à la réalité. Mais étant donné justement que je n'ai été conduit à cette explication du dépôt de l'oxyde d'étain que par l'ensemble de ces observations, je crois préférable de les exposer tout d'abord et d'étudier séparément : 1° la formation des fractures; 2° leur remplissage et le dépôt du minerai.

III. — L'ALTÉRATION DE LA GRANULITE DANS LA GRANDE TRANCHÉE.

Établir la cause immédiate qui a provoqué la formation des fractures est évidemment le premier des points que nous devons nous efforcer d'éclaircir; nous aurons ensuite à rechercher sous quelle influence elles se sont produites, et aussi à en déterminer l'âge, âge relatif à l'évolution de la granulite encaissante et âge absolu dans la série des temps géologiques.

La plupart des faits ci-dessus indiqués (pages 13, 14, 36) doivent nous guider; mais étant des propriétés du filon lui-même, ils ne seront expliqués que par la détermination de la nature des fractures; au contraire, il en est un : l'altération intense de la roche autour du faisceau filonien à la Villelder, dont l'origine peut être sujette à discussion, et il semble qu'il

est d'autant plus important de préciser dès maintenant sa nature, que l'intérêt à y attacher en dépendra essentiellement. J'ai déjà, en exposant ce que d'anciens auteurs pensaient des filons de la Villeder, montré quels sont les arguments que l'on peut faire valoir en vue d'expliquer l'altération de la roche par des émanations acides venues de la profondeur. Voyons quelles objections on peut leur faire.

L'importance de l'altération n'est pas niable, mais le produit qui en résulte n'a aucun rapport avec les greisen et zwitter des gisements allemands, dont les éléments sont fortement cohérents et qui constituent des roches spéciales mais très solides, modifiées mais non pourries. Peut-on comparer aux cas où la fragilité de la roche paraît devoir être attribuée à l'influence des fumerolles, il semble que non, car les feldspaths seraient alors en partie remplacés par le quartz uni à la tourmaline, la topaze, minéraux fluorés qui paraissent faire complètement défaut dans la roche sableuse de la grande tranchée. On peut rappeler aussi qu'au-dessous de 50^m, la roche est solide, que le filon contient empâtés dans le quartz des blocs anguleux et plus durs que la roche des épontes au même niveau. Enfin, et surtout, il ne faut pas oublier que la carrière de Maupas permet d'observer des filons bien minéralisés, encaissés dans la granulite parfaitement résistante.

J'ai examiné au microscope des préparations d'échantillons recueillis de la façon suivante ⁽¹⁾ :

1^o Dans la galerie de niveau aboutissant au fond et sur le flanc Est de la grande tranchée à 5^m ou 6^m du filon n^o 3 (analyse 7) ;

2^o Id. au contact du schiste (analyse 8) ;

(1) Pour l'étude de l'altération de la granulite, voir plus loin p. 116,

3° Id. à 6^m, 20 environ du filon (analyse 9) ;

4° Sur le flanc Est de la grande tranchée, à mi-hauteur.

Les trois premiers ont été prélevés en galerie afin d'éviter d'une façon absolue le lessivage et le remaniement de la roche. Le n° 1 montrera l'altération normale moyenne de la masse. Le n° 2 la variation possible au contact du schiste. Le n° 3 indiquera si les modifications observées paraissent plus nettes au voisinage du filon. Le n° 4 prélevé au voisinage immédiat des schistes, mais à la surface, permettra peut-être de saisir quelle a pu être son influence.

Il est facile, dans les préparations, de reconnaître encore la structure et la nature de la roche primitive qui était assurément la granulite telle qu'on la rencontre à l'ouest du faisceau filonien. Les quatre échantillons présentent de nombreux caractères communs : Tous sont très altérés ; tous ont leurs feldspaths décomposés avec production de séricite ou kaolinite ; ils ne présentent ni apatite, ni topaze ni tourmaline. Les caractères distinctifs sont :

3. Contient peu de mica vert (passage à la chlorite) ;

2-4. Pas de restes de feldspaths intacts ;

1-3. Restes de feldspaths intacts ;

1. Seule préparation contenant une quantité notable d'éléments colorés.

Il y a absolue identité entre les préparations 2 et 4, sauf que par suite de son exposition à l'air, 4 est un peu plus coloré par l'oxydation du fer. On remarque donc :

1° L'apatite qui existait évidemment à l'origine comme dans la roche intacte a disparu, sans doute dissoute. Une action filonienne aurait plutôt dû provoquer sa formation car : *a.* Les roches modifiées au contact de filons à Maupas en contiennent en abondance ; *b.* Le quartz des filons de la Villeder en présente fréquemment ;

2° L'altération est plus profonde au contact du schiste (disparition complète des feldspaths), ce qui semble bien indiquer que c'est de ce côté que venait l'agent, cause originelle de l'altération;

3° L'échantillon prélevé le plus près du filon ne contient que peu de chlorite (biotite). Le mica noir était donc déjà en cet endroit peu abondant avant l'altération de la roche. Ce caractère, joint à la présence des produits titanés qui subsistent, et, étant donné le voisinage du filon, conduit tout naturellement à penser que la roche initiale était comparable à celle qu'ailleurs on trouve à son contact ⁽¹⁾.

Il était intéressant de comparer cette roche pourrie avec une granulite du même massif, mais choisie de telle sorte que la cause météorique de sa décomposition ne put être mise en doute. C'est pourquoi j'ai examiné diverses préparations taillées dans les échantillons prélevés à la surface en des points où l'on ne voyait aucune espèce de filon, et où la roche à peu près intacte apparaissait à une faible profondeur. Ces plaques minces présentent des caractères très comparables à ceux de l'échantillon n° 1. De même, les feldspaths sont altérés et transformés en séricite et kaolinite, les portions qui subsistent étant constituées par le feldspath potassique (microcline). De même aussi, les éléments colorés sont assez abondants et sont, ou plutôt ont été, constitués par la biotite transformée en chlorite. L'apatite a également complètement disparu et la roche est plus ou moins rubéfiée; les caractères principaux sont donc bien les mêmes; toutefois, dans les préparations dont il vient d'être parlé, les restes feldspathiques

(1) Si l'on avait pu observer de bons échantillons pris au contact même du filon, on aurait sans doute pu préciser ce rapprochement, mais cela est impossible, l'eau circulant le long du quartz rend la roche tout particulièrement altérée. Ce supplément d'altération est, de toute évidence, d'origine atmosphérique.

sont généralement beaucoup plus importants que dans la roche pourrie de la Villeder, mais cela s'explique aisément si l'on veut bien remarquer que l'altération de cette dernière est poussée beaucoup plus loin. On ne peut recueillir d'échantillons où l'altération superficielle soit de toute évidence seule en jeu, aussi profondément décomposés ; en effet, afin que cette évidence existe, il faut les prélever en surface, mais les choisir encore très cohérents, sans quoi on risquerait de recueillir une arène granitique plus ou moins mélangée de produits étrangers.

Afin de préciser encore ces données, j'ai analysé les échantillons 1, 2, 3 et fait deux analyses d'échantillons prélevés ainsi qu'il vient d'être dit ; ces dernières étant presque identiques, je n'ai donné que l'une d'entre elles (*voir* Tableau général des analyses n° 10).

Il y a donc tout lieu de croire que cette altération de la granulite de la grande tranchée est d'origine météorique et postérieure à la formation des filons. Il y a, toutefois, deux observations qu'il s'agit encore d'expliquer :

1° Pourquoi la granulite est-elle fortement altérée seulement sur l'emplacement du faisceau filonien ;

2° Comment se fait-il que, selon les rapports de plusieurs ingénieurs, elle soit signalée comme contenant de la cassitérite.

Dans la grande tranchée, l'altération se manifeste sur plusieurs centaines de mètres dans la direction N-S ; à l'Est, elle va jusqu'au schiste, et à l'Ouest s'étend encore plusieurs mètres au delà du dernier filon. Il faut remarquer que cette région est traversée par de nombreux filons, donc fissurée ; est voisine du schiste latéralement ; est voisine du schiste verticalement, car nous ne devons pas oublier que lorsqu'on a commencé la grande tranchée, on travaillait dans le schiste recouvrant la granulite, schiste que l'on retrouve

encore sur le haut du talus Est. De ces trois particularités, quelle est celle qui doit être considérée comme la cause principale de l'altération ? A mon avis, les trois ont joué un rôle, mais un rôle inégal ; le contact avec le schiste est la vraie cause d'altération, le recouvrement plus encore que le contact. La présence des filons l'a beaucoup facilité et lui a permis de gagner une certaine profondeur.

Partout où l'on constate le contact granite-schiste on peut noter une certaine attaque de la roche, mais là où la surface est suffisamment décapée pour que seule l'action du contact latéral ⁽¹⁾ se fasse sentir, cette action est assez faible et surtout peu étendue. Un excellent exemple est fourni par la carrière de Maupas ; on y est très voisin du schiste et, pourtant, dans la carrière, l'altération est nulle. Partout, au contraire, où le recouvrement est encore net (ce qui est assez rare, car le dôme granulitique a eu sa calotte schisteuse enlevée par l'érosion qui a même fortement attaqué la roche) et où l'on voit apparaître la granulite, soit dans une coupe, au-dessous du schiste, soit plus souvent dans le fond d'une excavation, à travers le schiste, la roche est extrêmement altérée, sableuse, et en tous points comparable à celle de la grande tranchée. J'ai personnellement reconnu de nombreux contacts de ce genre ⁽²⁾, entre autres très nettement : A Maupas, au S-O de la carrière ; entre Poudelan et Quily ; sur la route de Sérent à Plumelec, peu après être entré dans la région granitique lorsque l'on vient de Sérent ; à Govello.

Le premier et le dernier de ces exemples sont tout particulièrement instructifs parce qu'ils sont caractéristiques dans des régions différentes à plusieurs points de vue. A

(1) Il y a toujours un certain recouvrement, le granite plongeant partout sous le schiste.

(2) Il suffit de suivre la bordure du massif pour en rencontrer.

l'ouest de la carrière de Maupas, le terrain monte en pente très raide vers les hauteurs du château du Gras. Au milieu de cette pente se remarque une tranchée creusée dans le schiste et au fond de laquelle se trouve la granulite entièrement sableuse. Je n'ai pu voir si cette altération, très complète, s'étendait beaucoup en profondeur, mais si l'on reconstitue par la pensée les dernières couches qui, plus au Nord, ont été enlevées par l'érosion, on voit que l'on a de haut en bas : 1° schiste ; 2° granulite décomposée et sableuse (une vingtaine de mètres) ; 3° granulite intacte que la carrière permet d'étudier facilement. C'est donc tout à fait le cas de la Villelder avec une altération un peu plus faible et une disposition favorisant l'étude de la roche fraîche.

A Govello, nous nous trouvons encore non loin du schiste qui, là, se rencontre au Sud-Ouest. Dans le village même, la route encaissée donne une coupe des plus nettes, où l'on voit le schiste en superposition avec une granulite complètement altérée et entièrement comparable à celle de la Villelder. On se trouve là dans une région sans filons connus, et il n'en existe sans doute pas, car, soit dans les landes, soit dans les clôtures, ne se rencontre aucun bloc de quartz.

On voit donc que partout où le schiste surmonte la granulite, celle-ci est complètement altérée, que la région soit filonienne ou non ; la présence de filons ne fait que favoriser la propagation de l'altération sans qu'elle atteigne jamais une profondeur très considérable.

A la Villelder, la situation était tout à fait favorable pour permettre à l'altération de se propager loin de la surface. La roche était fissurée en tous sens, la pénétration de l'eau était évidemment facilitée par toutes ces fentes qui lui permettaient d'aller à plusieurs dizaines de mètres accomplir le rôle destructif qu'ailleurs elle ne peut remplir qu'à la surface ; non seulement l'eau pouvait, aux épontes des filons, gagner en

profondeur, mais encore les veines plus ou moins couchées sur l'horizon, la forçaient à circuler en tous sens. Le quartz des filons étroitement accolé à l'éponte, ne permettant qu'un suintement à une certaine profondeur, la circulation devait devenir fort peu intense, l'eau rassemblée contre les filons à la surface du quartz, lui-même imperméable, a donc attaqué la roche à leur toit alors qu'elle n'était plus assez abondante pour imbiber et transformer toute la masse. C'est justement ce que l'on observe; lorsqu'au-dessous de 40^m la roche devient solide, on constate encore longtemps l'altération localisée au toit des filons. Il est probable qu'une décomposition plus avancée au toit a toujours précédé l'attaque générale, mais dans la partie haute du gîte, les variations locales ne sont plus guère sensibles. On peut seulement, ainsi que je l'ai indiqué, remarquer qu'il n'existe pour ainsi dire plus de trace de feldspaths non décomposés au contact immédiat, soit des filons, soit du schiste, tandis que les fragments encore transparents ne sont pas rares dans la partie intermédiaire.

Quant à la présence de la cassitérite dans la granulite même, outre qu'elle ne suffirait pas à prouver que la roche a été altérée sous l'influence des agents chimiques mis en liberté lors de son dépôt, elle ne paraît pas du tout certaine; je n'ai pu personnellement l'y rencontrer ⁽¹⁾ ni en effectuant des lavages, ni en observant des préparations; et M. Burthe qui s'est occupé de la mine dans ses dernières années d'exploitation, n'a, malgré ses recherches, jamais pu trouver la granulite minéralisée. Ce qui est vrai, c'est qu'en certains points de la grande tranchée, des veines quarzeuses bien minéralisées d'une puissance parfois inférieure à 1^{cm}, plus ou moins brisées par suite du tassement de la roche pourrie,

(¹) Sauf l'exception signalée page 138.

sont assez difficiles à reconnaître. Leur faible puissance fait qu'elles s'abattent à la pioche en même temps que la masse environnante, et que, par lavage, on trouve la cassitérite ; mais on peut toujours, dans ce cas, remarquer que le minéral recueilli est adhérent à des fragments de quartz filonien, et trouver la veinule dont il provient.

IV. — CAUSE DES FRACTURES.

Cette question de la nature de l'altération de la granulite à la mine étant définitivement tranchée, nous pouvons passer à la discussion de l'origine des fractures. On peut les supposer produites :

1° Par le retrait de la masse granulitique par suite de refroidissement.

2° Par le frottement et l'adhérence contre les schistes d'une croûte déjà solidifiée, alors que le cœur du massif était encore soumis à une poussée de bas en haut.

3° Par un des mouvements tectoniques dont le sud de la Bretagne a été l'objet.

Un argument semblerait permettre d'écarter immédiatement les deux premières suppositions. C'est le fait que l'on constate la continuation des filons dans les schistes. Mais une fissure provoquée par le retrait, pourra se prolonger dans les terrains encaissants, les deux portions de granulite alors solidifiée, en s'écartant l'une de l'autre, les entraînant dans leur mouvement. Il est vrai que dans le schiste les fractures ainsi formées ne se prolongeront pas longtemps, mais comme c'est justement un éparpillement et une disparition rapide des filons que l'on y observe généralement, il faut reconnaître que cette continuation des veines quartzeuses hors de

la granulite ne constitue pas un fait dont on puisse tirer des conséquences bien sérieuses.

Le retrait de la masse par refroidissement a été souvent invoqué pour expliquer la formation des stockwercks. J'ai déjà montré combien le faisceau filonien de la Villeder était différent du véritable stockwerck, et d'ailleurs, comment expliquer par le retrait une fracture aussi puissante, aussi régulière et aussi continue que le grand filon. L'altération profonde dans la grande tranchée a pu paraître un argument en faveur de cette hypothèse; mais les preuves données de l'origine météorique de l'altération lui enlèvent toute valeur, si bien qu'il n'y a aucune raison de penser que les filons aient pu avoir cette origine.

La deuxième proposition paraît également insuffisante pour expliquer l'importance et les caractères du grand filon.

Ce qui peut sembler donner quelque crédit à l'une des deux explications ci-dessus, est l'observation signalée par certains auteurs, suivant laquelle les filons se trouveraient toujours à la périphérie du massif et en chaque point parallèles à la direction générale du contact avec le schiste. En effet, les filons exploités à la mine et ceux du Lédou ou de Maupas répondent à cette règle, mais pour les autres, il n'en est rien; le filon non retrouvé de Sérent la suivrait également, mais il n'a peut-être jamais existé, et quant aux directions anormales que j'ai relevées moi-même en ce point, et au Nord vers la Ville-Halais, j'ai montré que c'était là des faits locaux et accidentels et que les filons, dans leur ensemble, étaient bien parallèles à une même direction générale.

C'est ce fait, qui, joint à l'existence de ces puissants filons qui semblent remplir de véritables fractures, m'ont fait penser que la cause de leur formation devait avoir été une véritable dislocation du sol.

C'est en partant de cette idée que je me suis efforcé de

rassembler toutes les observations possibles; or les plus démonstratives sont évidemment celles qui prouvent un effort considérable subi par la roche après sa solidification et un déplacement relatif des deux parois du filon. L'examen des préparations microscopiques permet de constater aisément que la roche a été soumise à une forte pression. Celle-ci n'a généralement pas abouti à un broyage, mais les grains de quartz fournissent une preuve évidente de l'effort subi, leurs extinctions sont onduleuses, souvent même « en mosaïque », c'est-à-dire qu'il se forme dans un même individu plusieurs petites plages s'éteignant séparément, bien que sous des angles très voisins, montrant la déformation subie par l'édifice cristallin primitif.

On ne peut guère rapporter à un effondrement ou à une poussée venue de la base du massif granitique lui-même, l'effort dont la trace a été ainsi conservée et il est d'observation générale que ces phénomènes se manifestent seulement avec une netteté comparable lorsqu'un massif de roche éruptive a eu à subir une véritable poussée. On peut dans le massif trouver les preuves de cette poussée latérale : il existe au Sud-Ouest une zone de broyage de plusieurs centaines de mètres de largeur; l'examen des échantillons, à l'œil nu et mieux encore au microscope, le démontre sans discussion possible (¹).

Non seulement la roche a supporté une poussée, mais même, en certains points, les deux bords d'une cassure ont eu à subir un véritable déplacement, combinaison d'un mouvement dirigé horizontalement et d'un effondrement. Nulle part cela n'est plus frappant qu'à 14^{km} O de la mine, à 3^{km},5 S-S-O de Guehenno, à 0^{km},7 de la route qui mène de ce village à Saint-Jean-Brévelay. Il existe là une série de

(¹) Voir description des roches.

collines de forme conique, véritables dômes granitiques, comme on en rencontre partout dans cette région et qui sont si caractéristiques de sa géographie physique, mais tout particulièrement remarquables par leur absolue régularité, qui retient l'attention à la simple lecture de la carte. Au sommet du second de ces dômes, en allant vers le Sud-Ouest, indiqué sous l'appellation de : « la Grée Magnan » du nom d'un ancien moulin disparu, existe une petite carrière ⁽¹⁾ où l'on exploite pour dalles une granulite à grain fin ⁽²⁾. La roche y est divisée en bancs naturels, mais on peut, en outre, remarquer qu'une des faces de l'excavation produite par la carrière est constituée par une paroi plane. C'est un superbe miroir de faille, dégagé sur plus de 10^m de hauteur et 20^m de largeur. La cassure, sans être franchement ouverte, ne s'est pas complètement refermée et contient un remplissage formé d'une grande feuille de roche écrasée ⁽³⁾, demeurée contre l'éponte encore en place et dont on peut la séparer sans peine avec la main ou tout au plus avec quelques pesées du marteau. On a ainsi des plaques recouvertes des deux côtés d'un enduit talqueux qui les sépare des épontes. Cet enduit présente des stries très nettes comme celles que tous les mineurs connaissent bien, provoquées par le déplacement relatif des parois ⁽³⁾. Les mesures effectuées sont les suivantes : Direction : 30°, O. Plongement : 77° E. Puissance : 1^{cm} à 5^{cm}. Cette faille est la preuve d'un effort supporté par le massif de granulite et ayant abouti à une

(¹) En réalité, il y a plusieurs excavations. La plupart sont creusées dans une roche très altérée, j'attribue cette altération au fait que l'on a là un témoin de la couche tout à fait superficielle de la granulite au contact du schiste.

(²) Voir description pétrographique des roches.

(³) Je n'ai pu dans les environs découvrir de filons, bien qu'un morceau de quartz fétide trouvé dans la carrière m'ait fait supposer leur existence.

fracture. Ce qu'il y a de tout particulièrement intéressant est de constater que sa direction est justement celle des filons quartzeux. Nous avons vu en effet que tous les filons (sauf les rares exceptions déjà discutées) ont des directions variant de 15° à $35^{\circ},0$ et l'on a pu remarquer que ceux qui s'éloignent le plus du N-S étaient ceux qui se trouvent le plus à l'ouest du massif. Or à la Grée Magnan, nous sommes dans cette région Ouest, la direction $30^{\circ} O$ est bien la direction moyenne qu'aurait eu un filon quartzeux. Les deux seules différences qui existent avec un véritable filon sont :

- 1° La fissure ne s'est pas franchement ouverte.
- 2° Son plongement, il est vrai très accentué, est Est et non pas Ouest comme pour les filons.

Ayant été ainsi amené à penser qu'à la mine, on devait retrouver une trace du mouvement autre que la déformation du quartz du granite, j'ai pu me procurer plusieurs échantillons de la roche solide prise en profondeur au contact du filon. Certains d'entre eux, mais peu nombreux, montrent qu'elle adhère fortement au quartz ; dans la grande majorité des cas au contraire, elle s'en détache avec la plus grande facilité en laissant apercevoir un enduit doux au toucher, comparable à celui qui isole de ses épontes le remplissage de roche broyée de la faille de la Grée Magnan ; souvent, on constate même, surtout lorsque cet enduit talqueux est bien formé, des stries, témoignage indiscutable d'un glissement. J'ai même pu recueillir certains échantillons grâce auxquels on s'aperçoit que la roche a subi un broyage assez prononcé ; elle se trouve divisée en lits qui ont glissé les uns sur les autres et présentent entre eux des surfaces striées enduites de substance talqueuse (le quartz adhère alors à l'éponte).

Les filons sont donc des cassures avec déplacement relatif

des parois, mais un simple effondrement ou une poussée venue du massif granulitique lui-même auraient pu provoquer des cassures présentant ce même caractère. On a vu que de telles hypothèses répondent mal aux faits observés ; on peut faire remarquer de plus que les mouvements relatifs des épontes auraient été, dans les deux cas, dirigés parallèlement à la ligne de plus grande pente de la fracture, or ce n'est nullement ce que l'on observe ; les stries conservées par l'enduit talqueux montrent que le déplacement a eu lieu dans une direction qui faisait avec la ligne de plus grande pente un angle assez considérable.

Cette origine des filons explique parfaitement :

- 1° La communauté de direction des filons relevés.
- 2° La puissance, la continuité et la régularité de plusieurs d'entre eux.
- 3° Les phénomènes de broyage observés dans la roche.
- 4° Les débris anguleux de granulite trouvés en plein filon.
- 5° L'existence, dans le massif, de failles (Grée Magnan) parallèles aux filons.

Elle permet aussi d'expliquer :

- 1° Pourquoi les filons les plus importants sont voisins du bord du massif.
- 2° Pourquoi vers la surface, les fissures sont nombreuses et réticulées.

Lorsqu'en effet la poussée s'est produite, un massif comme celui qui nous occupe, constitué par une roche tenace et ayant la forme générale d'un dôme à racines larges et profondes, s'opposait évidemment au mouvement et avait moins de chance de se laisser fissurer que des schistes. Il est naturel que ses bords, et surtout ses deux extrémités Est et Ouest, mal soutenues par ceux-ci, se soient laissés entamer plus facile-

ment. D'autre part, une fracture à plongement Ouest s'étant produite au bord Est du massif, le fragment de granite ainsi détaché de la masse et appuyé seulement sur le schiste, s'est facilement écarté formant une fente largement ouverte. La fracture, au moment de sa formation, s'est redressée au voisinage de la surface (grand filon) par suite de la diminution de résistance et cette même raison a pu faciliter la naissance des veines secondaires en réseau. En profondeur les fentes se propageaient dans un milieu également résistant de tous côtés, elles n'avaient donc aucune raison de se diviser et de varier de plongement ; vers la surface du granite au contraire, elles ont eu tendance à se redresser et à donner des ramifications variées.

V. — ORIGINE DU MOUVEMENT QUI A DONNÉ NAISSANCE AUX FILONS.

Il ne nous reste plus qu'à chercher à établir à quoi on peut rapporter ce mouvement. C'est là un problème qui, touchant la tectonique générale de la Bretagne, nous forcera à étendre le champ de nos études.

Mais avant de l'entreprendre, qu'on me permette de répéter que je ne vois, dans la majorité des cas, aucune différence entre les failles et les filons, qui ne sont que des failles ouvertes et ultérieurement remplies. D'une façon générale et à moins d'accidents, tels que rencontre de fractures antérieures, existence d'un massif à racine profonde formant butoir, etc., une poussée dirigée en quelque sens que ce soit provoque des plissements qui lui sont approximativement perpendiculaires, et si l'effort est violent et continu, prennent ensuite naissance les filons et les failles.

Les failles seront de quatre types différents :

1° Perpendiculaires à la poussée (¹). — Ce sont des cassures qui se forment parallèlement aux plis avec effondrement d'un des flancs. Elles ne se rencontrent qu'exceptionnellement dans les massifs de roche éruptive ancrés dans la profondeur et qui ne se sont pas laissés plisser.

2° Parallèles à la poussée. — De telles failles provoquent des décrochements qui, souvent faibles, peuvent être assez considérables et qui sont généralement accompagnés d'effondrements. Le sol ne pouvant plus se plisser se brise ; un des bords de la faille subissant un déplacement à la fois horizontal et vertical. Une région ne pourra plus se plisser et se brisera ainsi lorsqu'elle sera jalonnée de massifs de roches éruptives faisant fonction d'une série de chevilles sur lesquelles elle se trouvera appuyée. Un premier plissement par exemple pourra affecter une région en favorisant la formation de culots de roches grenues compactes, un second effort amènera la formation de failles parallèles à la poussée dans la région ainsi soutenue.

3° Plis failles. — Ces failles sont perpendiculaires à la direction de la poussée ; elles sont toujours inverses et la partie recouverte sera située du côté opposé à celui d'où vient l'effort. (Ressemblent au type 2.)

4° Effondrements. — Une portion de terrain limitée par deux failles primitives du type 2 par exemple, et mal soutenue sur ses deux autres faces parallèles aux plissements, peut s'effondrer. De telles failles sont une conséquence de l'effort orogénique primitif, mais n'en dérivent qu'indirectement.

(¹) M. Ch. Barrois insiste sur la fréquence et l'importance de ces failles dans le plateau méridional de la Bretagne (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XXVI, p. 10).

Dans ce qui suit, je ne considère que le cas d'une poussée agissant seule, laissant de côté les phénomènes de torsion.

Les filons sont de deux sortes, correspondant aux deux premiers types de failles :

1° Perpendiculaires à la poussée. — Ce sont des cassures parallèles aux plis avec ou sans déplacement vertical, les terrains affectés ayant atteint leur limite d'élasticité se brisent sur les sommets des anticlinaux ; il y a écartement des lèvres dont les parties correspondantes restent en regard. Un effondrement pourra se combiner avec une fracture de cette espèce, mais à condition que les deux flancs restent écartés ; s'ils retombent l'un sur l'autre, ils risqueront de la refermer, auquel cas on reviendrait à la faille du type 1.

2° Parallèles à la poussée. — Ce sont de petits décrochements souvent combinés avec un effondrement plus ou moins important, la fracture étant restée ouverte. De tels filons seront fréquents dans les roches dures qui, ne se laissant pas plisser, se sont ainsi brisées et ne sont pas assez plastiques pour permettre à la fracture de se refermer.

La partie méridionale de la Bretagne est une région qui a été soumise à des efforts considérables, mais certains d'entre eux ont eu une importance toute spéciale, et c'est à eux que l'on peut rapporter les divers accidents, plissements, failles et filons. Chacun sait ⁽¹⁾ que les grandes lignes tectoniques de la Bretagne sont au nombre de deux et leurs directions sont connues sous les noms de direction du Cornouailles (plissements armoricains) et direction du Léon (plissements varisques) ⁽²⁾. Elles convergent à l'Ouest et

⁽¹⁾ Voir les Travaux de M. Ch. Barrois.

⁽²⁾ Les autres systèmes importants du sud de la Bretagne sont celui de la presqu'île guérandaise et celui du plateau angevin ; ils sont subordonnés à celui des Cornouailles (*Bull. de la Carte géol. de France*, t. IX, Bull., 59).

les plis principaux qui s'y rapportent se rencontreraient s'ils ne s'enfonçaient auparavant sous la mer. La direction du Léon est 55° à 75° E, celle de Cornouailles 65° à 80° O. C'est à cette dernière qu'appartiennent tous les plissements du sud de la Bretagne et en particulier le synclinal de Malestroit.

Si suivant le synclinal de Malestroit ainsi que ses prolongements Sud-Est et Nord-Ouest, on relève toutes les directions de filons ou de failles ⁽¹⁾, les nombres ainsi obtenus se groupent tout naturellement autour de certaines valeurs. Les directions de plissements sont bien constantes. Pour ce qui est des fractures parallèles ou perpendiculaires à ces plissements, il y a évidemment une variation un peu plus large, mais on est néanmoins frappé de ne les voir osciller que dans d'assez faibles limites autour de certaines directions privilégiées.

Si nous commençons par étudier le quadrant Ouest, en faisant abstraction de quelques très rares valeurs anormales dont il y aurait lieu sur place de rechercher la cause, nous obtenons les nombres moyens suivants :

Plissements : 65° à 80° . Direction des plissements armoricains.

Filons : 15° à 30° . Direction perpendiculaire à celle des plissements varisques ; 60° à 80° . Direction parallèle à celle des plissements armoricains.

Failles : 15° à 30° . Direction perpendiculaire à celle des plissements varisques ; voisines de 90° : Effondrements.

Il n'existe pas une faille, et ce n'est que tout à fait exceptionnellement que l'on rencontre des filons ayant comme direction 0° à 15° , 30° à 60° , 80° à 90° . Les failles extrême-

(1) Sur la Carte géologique détaillée au $\frac{1}{800000}$ feuilles de Châteaulin, Pontivy, Rennes, Lorient, Vannes, Redon, Ancenis.

ment voisines de la direction Est-Ouest en réunissent toujours deux autres d'autre direction ; elles ont été bien évidemment produites postérieurement à la formation de ces dernières par la chute d'un parallélipède découpé dans l'écorce terrestre ; il n'y a donc pas lieu de s'y arrêter.

Dans le quadrant Est, la distribution est beaucoup moins nette, et s'il est vrai que les filons dont la direction est voisine de celle du Léon, sont fréquents sur les feuilles de Vannes et Pontivy par exemple, ils sont moins bien groupés autour d'une direction moyenne et font, dans certaines régions, complètement défaut. Par contre, les fractures (filons et failles) 10° à 25° E, c'est-à-dire perpendiculaires à la direction du Cornouailles sont bien représentées sur la feuille de Pontivy, mais il faut remarquer de suite que l'on n'a pas affaire à des cassures contemporaines des plissements 65° à 80° O, car l'une d'elles vient buter et s'arrêter contre une faille parallèle aux plissements Nord-Est et en dépendant. Elles seraient donc postérieures aux plissements Nord-Est, or l'on sait, et j'aurai l'occasion de montrer de nouveau plus loin, que ces derniers sont eux-mêmes postérieurs aux plissements Nord-Ouest (¹). D'ailleurs, la feuille de Redon nous montre des cassures 45° à 55° Est décrochant les plissements Nord-Ouest ne pouvant donc s'être produites qu'après eux et la feuille de Châteaulin en indique d'autres 26° à 65° Est qui recoupent et décrochent les plissements Nord-Est.

Toutes ces failles ayant provoqué des effondrements combinés à des décrochements, doivent être parallèles à la poussée qui les a fait naître, et comme elles sont postérieures aux plissements du Cornouailles et du Léon (²), on doit les attri-

(¹) Il existe aussi dans le quadrant N-E des failles E-O. Ce sont manifestement des effondrements.

(²) Elles paraissent contemporaines de la venue des porphyres à quartz

buer à un troisième et dernier mouvement dirigé sensiblement de même que celui qui a formé les plis Nord-Ouest.

Si nous portons notre attention sur les failles, plus nettes et plus démonstratives que les filons, nous voyons que ces décrochements Nord-Est qui font un très grand angle avec la direction Nord-Sud (65° E) dans les environs de Château-neuf-du-Faou (failles situées au sud-est de Châteaulin) se redressent progressivement à mesure que l'on s'avance vers l'Est et passent par une inclinaison minima (10° E) près de Kergrist au nord de Pontivy; plus à l'Est celle-ci augmente de nouveau légèrement et atteint 55° E sur la feuille de Redon. Mais la progressivité de cette variation prouve bien que toutes ont la même origine.

On a donc eu successivement :

1° Plissements N, 65° à 80° O; Filons N, 60° à 80° O, provoqués par poussée N, 10° à 25° E.

2° Plissements N, 60° à 75° E; Faille N, 65° E; Failles N, 15° à 30° O (¹); Filons N, 50° à 75° E; Filons N, 15° à 30° O; provoqués par poussée N, 15° à 30° O.

3° Failles N, 65° , 10° , 55° E; provoquée par poussée N-E.

globulaire (ryolithes), dont les filons sont parallèles à la direction des failles N-E sur la feuille de Redon, tandis qu'aux environs de Pouillé (nord d'Ancenis) de petits massifs de cette roche sont évidemment postérieurs aux fractures N-O qui ne les influencent pas.

(¹) Les principales d'entre elles sont, de l'Est à l'Ouest.

2	^{km}	E-N-E Saint-Herblon.....	18	⁰
5		E-N-E Ancenis.....	27	O
2,5		E-N-E Ancenis.....	23	O
1,5	O	Malestroit	24	O
1	O	Saint-Alouestre { partie sud..	17	O
		{ partie nord.	19	O
3	O	Baud.....	15	O
0,1	E	Quistinic.....	17	O

Celles de Malestroit et de Saint-Alouestre sont tout particulière-

Les failles N, 15° à 30° O décrochent les plissements N, 65° à 80° O.

Les failles N, 65°, 10°, 55° E, décrochent les plissements N, 65° à 80° O et N, 60° à 75° E et buttent contre faille N., 65° E

Il résulte de ce qui précède que lors du premier mouvement, les fractures perpendiculaires (filons) à la poussée ont été fréquentes et de direction bien concordante avec celle des plissements, tandis que les fractures parallèles ne sont pas représentées. Lors du second mouvement, les cassures perpendiculaires sont encore fréquentes mais leurs directions sont moins constantes et les plissements ne sont que localement bien marqués; au contraire parallèlement à la poussée, les fractures (filons et surtout failles avec décrochement) sont nettes, nombreuses et presque parfaitement parallèles entre elles. Enfin les accidents à rapporter au troisième mouvement se groupent mal autour de directions bien définies, ceux d'entre eux parallèles à la poussée (failles avec décrochements) sont seuls visibles, mais on doit y reconnaître cette variation progressive d'orientation ci-dessus signalée.

Faut-il s'étonner de ces différences d'effets produits par les trois poussées successives; n'est-ce pas là, au contraire, justement ce que le raisonnement aurait pu prévoir: je le

ment importantes à considérer, car si la première après avoir pu être suivie sur une quinzaine de kilomètres se perd sous les alluvions récentes de l'Ouest et ne peut être retrouvée au delà, à cause des alluvions anciennes (α^1) qui recouvrent le sous-sol, son prolongement passerait à l'Est et contre le roc Saint-André, et plus loin, entre Guillac et les carrières de Maupas. La seconde atteint franchement la granulite à l'ouest du massif, la coupant suivant une ligne droite au delà de laquelle on ne retrouve que le schiste (ξ^2) sans doute par suite de l'affaissement du sol qui fait que l'érosion est moins avancée qu'à l'Est de la faille.

Le massif de la Villeder est donc ainsi limité par deux failles, très sensiblement parallèles entre elles.

crois, et on le comprendra aisément. Les plissements N 65°-80° O (pl. armoricains) se sont produits les premiers, puisqu'ils sont influencés par les accidents parallèles aux deux poussées successives qui ont suivi, dans une région, qui, si elle avait été déjà plissée, avait depuis longtemps échappé aux mouvements importants et dont les sédiments n'étaient soutenus par aucun massif de roche éruptive. Ceux-ci ont dû par conséquent se laisser plier aisément, les failles et les filons perpendiculaires à la poussée auront pu se produire lorsque la courbure des plis se sera exagérément accentuée, mais il n'y avait aucune raison de voir se former ces fractures parallèles à la direction de l'effort qui ainsi que je l'ai expliqué qu'apparaissent que lorsque le plissement est gêné, que certaines parties du sol s'arrêtent, alors que d'autres tendent à continuer leur mouvement. Le sommet des plis tendant à se briser, il en est résulté que les masses profondes et fluides ont pu s'élever et jalonner les anticlinaux de cette série de massifs éruptifs que l'érosion devait longtemps après mettre à jour.

Ce n'est que plus tard que les plissements N 60°-75° E se sont manifestés. Tandis que dans le nord de la Bretagne, le sol pouvait encore s'onduler assez régulièrement, tout le long de la côte Sud, les plis armoricains soulignés et fortement soutenus par de longues traînées de granite et de granulite résistaient énergiquement à une nouvelle déformation. L'effort était tel que si des plis nouveaux ne pouvaient prendre naissance que dans les régions dépourvues de charpente éruptive, les barrières granitiques n'en cédaient pas moins çà et là dans les autres, et il s'ensuivait forcément la production de ces cassures N 15°-30° O résultats de décrochements et d'effondrements combinés; les filons ou failles perpendiculaires à la direction de cet effort ne devaient évidemment se manifester que plus rarement, sans décro-

chement et avec des orientations moins constantes, les ondes terrestres déviées par les massifs rocheux étant forcées de les contourner.

Enfin plus tard encore une nouvelle poussée de direction N-N-E, sensiblement parallèle à celle qui avait provoqué les premiers plis, bien que peut-être un peu plus inclinée à l'Est, se produit; le sol toujours chevillé par les culots granitiques ne peut pas se plier, il se rompt de nouveau parallèlement à la direction de la force qui agit alors, et il en résulte des failles recoupant tous les plis précédemment formés.

Voyons maintenant les conséquences que nous pouvons tirer de cette étude relativement au massif de la Villeder.

La formation du synclinal de Malestroit, ainsi que l'ascension de la granulite dans le pli anticlinal voisin, ont été les conséquences du premier mouvement (plissements armoricains). Les failles qui passent à droite et à gauche du massif (failles de Malestroit et de Saint-Allouestre) sont des fractures parallèles à la direction de la poussée qui dans le N.-E. a formé les plissements varisques; elles ont provoqué des effondrements combinés à des décrochements horizontaux ainsi que pouvait le faire prévoir leur nature. Or les principaux filons signalés dans le massif et dus à un déplacement relatif des parois dans le sens horizontal, combiné sans doute avec un effondrement, ont une direction générale sensiblement parallèle à celle des fractures dont il vient d'être question, il est par suite très légitime de penser que failles et filons sont des accidents comparables et qu'ils ont même origine; c'est aussi au deuxième mouvement qu'on les doit rapporter. Quant à la faille N 62° O que l'on rencontre à 1^{km},5 S de Plumelec, il n'est pas difficile d'expliquer sa formation. Lorsque la poussée dirigée N 15° à 30° O s'est produite, les terrains situés au sud du massif de granulite ont été comprimés vers le N-O mais comme

celui-ci, solidement ancré dans la profondeur, résistait à cet effort, il s'est produit un glissement vers l'Ouest. C'est ainsi qu'a pris naissance cette faille qui s'arrête brusquement dans celle de Saint-Allouestre, cette dernière ayant été produite par la translation vers le Nord et l'effondrement des sédiments qui n'étaient plus soutenus par la granulite (¹). Si d'ailleurs la roche éruptive ne s'est pas laissée complètement briser, elle a gardé les traces de l'effort qu'elle a eu à subir, puisque sur une largeur qui dépasse en certains points 1^{km} elle a été fortement broyée et a pris une structure toute spéciale.

Nous avons donc ainsi établi quelle a été la cause qui avait provoqué la formation des filons, nous avons montré à quel mouvement général on pouvait les rapporter, nous avons aussi déterminé l'époque de la formation des fractures. Il resterait à rechercher quand le remplissage s'est effectué, mais nous ne pourrions avoir une opinion sur ce point qu'après avoir fait l'étude de ce remplissage et essayé de nous rendre compte de la façon dont il s'est produit; qu'il nous suffise de retenir pour l'instant qu'il est en tous cas postérieur à la parfaite solidification de la granulite.

(¹) L'importance de la masse éruptive étant en ce point extrêmement réduite.

CHAPITRE III.

LES MINÉRAUX.

Il est intéressant, tant à un point de vue purement documentaire que pour pouvoir discuter la nature des venues qui ont rempli les filons, de signaler les divers minéraux qui ont été rencontrés à la Villeder; mais comme je n'ai souvent pas eu entre les mains des cristaux aussi beaux que ceux que l'on rencontrait alors que la mine était en exploitation, je ne répéterai pas les descriptions déjà faites ⁽¹⁾, n'indiquant que les formes les plus importantes et n'insistant que sur les faits susceptibles de nous éclairer sur la façon dont le remplissage s'est effectué.

I. — MINÉRAUX DES FILONS.

Quartz.

1° QUARTZ EN MASSE COMPACTE DANS LES FILONS MÉTALLIFÈRES.

— Éclat gras plus ou moins accentué, mais toujours très net. La couleur varie du blanc laiteux parfois translucide au gris pâle. Compact, il ne présente aucune différence entre les divers points d'un même filon, mais la continuité de la masse est interrompue par des fissures non ouvertes (surtout dans les grands filons au-dessus de 40^m) de forme et de

(¹) Voir tout particulièrement les Ouvrages de MM. A. LACROIX, BAUDOT et DE LIMUR.

direction parfaitement quelconques, souvent légèrement enduites de mica.

Au microscope on s'aperçoit qu'il est formé de grands cristaux (dépassant la taille d'une préparation) étroitement accolés entre eux. Si dans une plaque de 2 à 3^{cm}, le quartz possède diverses orientations, celles-ci sont souvent voisines, les cristaux sont très irrégulièrement enchevêtrés et les extinctions sont roulantes. On peut croire que les diverses plages se sont formées par suite de compression aux dépens d'un individu d'orientation unique. Certaines préparations montrent même des zones de broyage nettement caractérisées, d'autres (Maupas), une petite salbande de quartz écrasé (1^{mm}) entre la masse du remplissage et l'éponte.

Le quartz filonien répand sous le choc du marteau une odeur fétide caractéristique, suffisamment intense pour se sentir même en plein air. Elle est due au dégagement des gaz qui remplissent un grand nombre de cavités souvent ovoïdes mais parfois de forme tout à fait quelconque. Ces inclusions très irrégulièrement réparties et de taille variées, atteignent 0^{mm},04 sur 0^{mm},02 et dépassent très souvent un diamètre moyen de 0^{mm},01; elles sont parfois disposées en traînées passant sans déviation d'un cristal à son voisin. Leur abondance donne au quartz une fragilité toute spéciale.

Il contient de petites géodes de formes irrégulières distribuées sans ordre; près des épontes, des cavités en forme de prismes hexagonaux, correspondent à des cristaux d'apatite ou de béryl disparus.

Dans certains filons (Kerguen, Ville-Halais, Tremeur, etc.) le quartz est formé de grains de différentes orientations, il en est de même à la carrière du Redigaux, où il présente, de plus, de nombreuses petites cavités avec pointements nets.

2° QUARTZ DES VEINES NON MÉTALLIFÈRES. — C'est celui qui

forme le remplissage d'ailleurs généralement incomplet des fissures non minéralisées, irrégulières et superficielles. Il est blanc plus ou moins translucide, sans éclat gras, ne répandant pas d'odeur lorsqu'on le brise et beaucoup moins fragile que le précédent. Il ne remplit jamais de fentes puissantes, mais forme seulement des veinules, soit isolées, soit multiples, serpentant en tous sens autour des morceaux de roche enclavés. Sa tendance à prendre des contours géométriques est très grande et se remarque soit par la présence d'une multitude de petits cristaux normaux aux parois, soit par la formation dans la roche altérée de longs cristaux bipyramidés également perpendiculaires à la direction de la fissure, certains d'entre eux pouvant être recueillis intacts si la roche est pourrie, tandis que n'autres ne sont visibles qu'au microscope dans la roche encore solide.

3° QUARTZ PRÉSENTANT DES FORMES NETTES DANS LES FILONS MINÉRALISÉS. — Dans les géodes, on trouve parfois des prismes de quartz de petite taille (généralement pas plus de 0^m,02 de diamètre), enfumés ⁽¹⁾ ou non, souvent très allongés suivant pe^2 ⁽²⁾ et ne possédant ni l'éclat gras, ni l'odeur fétide. L'un de ceux que j'ai rencontré est régulièrement développé et présente les facettes ρ et σ , cette dernière appartenant à un hémiscalénoèdre droit.

4° QUARTZ BACILLAIRE. — Sur tout l'alignement : Le Glétin, Pourbelan, La Chenaie-Morio, et notamment à l'ouest de « Les Déserts » (voir page 26), on trouve au milieu de la granulite transformée en une arène argileuse, des rognons de formes irrégulières atteignant jusqu'à 0^m,50 de diamètre.

⁽¹⁾ Voir A. LACROIX, *Min. de Fr.*, t. III, p. 93.

⁽²⁾ Parmi ceux que j'ai recueillis il en est qui semblent presque noirs. En réalité ils sont incolores mais couverts d'une mince croûte très adhérente d'oxyde de fer.

Ils sont formés par l'union d'énormes sphérolithes de quartz en cristaux allongés suivant l'axe principal, et serrés les uns contre les autres ⁽¹⁾. Ces rognons peuvent avoir jusqu'à 0^m,15 de rayon mais ce n'est pas un même cristal qui se continue du centre à la périphérie; ils sont en effet formés de zones concentriques séparées entre elles par une mince couche de quartz en petits grains de toutes orientations. Au delà de chacune de ces couches les cristaux bacillaires reprennent mais sont groupés autour de points privilégiés et par suite non parallèles entre eux, seuls les cristaux parallèles au rayon du sphérolithe sont continus, les autres s'arrêtent en butant contre leurs voisins. Si deux de ces masses de quartz rayonné laissent entre elles un vide, les cristaux s'y terminent par des pointements nets; il arrive que plusieurs d'entre elles soient entourées de nouvelles couches de quartz bacillaire, mais dans ce cas, les cristaux sont fins et courts, tandis que les zones à cristallisation confuse peuvent atteindre 1^{mm} d'épaisseur.

Calcédoine. — Un enduit de calcédoine blanche recouvre fréquemment les parois des géodes et les cristaux qui s'y rencontrent; il porte presque toujours de très petits cristaux transparents de quartz ($pe^{\frac{1}{2}}$).

La calcédoine est aussi associée au quartz bacillaire, elle constitue parfois (quartzine) les minces couches à apparence compacte qui séparent les zones de cristaux allongés de quartz, mais elle est surtout fréquente sous forme de croûte à la surface des rognons. Elle leur est alors nettement postérieure parce qu'elle s'est déposée non seulement à la surface

⁽¹⁾ Ces formations sont comparables à celles signalées dans l'Anjou (A. LACROIX, *Mém. de Fr.*, t. III, p. 67); j'ai rencontré moi-même à Bellevue à 2^k,5 sud-est de Nozay (Loire-Inférieure) un filon composé de ces rognons de quartz bacillaires qui avait été déchaussé sur plusieurs mètres.

des rognons, mais encore dans les fissures qui s'y sont quelquefois produites. Cette calcédoine se présente d'ailleurs sous des aspects variés: le plus souvent elle est terne, translucide, d'un blanc verdâtre et possède un éclat cireux (zones concentriques de quartzine et de calcédonite à enroulements), c'est à cet état qu'elle forme à la surface et dans les fissures des rognons quartzeux, des couches dont l'épaisseur ne dépasse généralement pas quelques millimètres, et c'est elle qui, ayant autrefois moulé des cristaux de fluorine, a gardé leur empreinte après leur disparition. Mais on la voit fréquemment passer au blanc opaque, elle devient alors beaucoup moins dure et en certains cas se laisse rayer à l'ongle. On peut suivre dans une même zone la transformation progressive de la première variété dans la suivante, et c'est une décomposition par déshydratation qui en est la cause. La variété translucide perd en effet de l'eau par calcination au rouge, tandis que les parties blanches sont presque anhydres. C'est un produit complexe comparable à la patine des silex et voisin de la silice pulvérulente connue sous le nom de *passyte* ⁽¹⁾ qui constitue ces dernières. J'ai recueilli un échantillon qui démontre bien que cette silice n'a pas toujours existé à cet état: on y remarque à la surface d'un fragment de quartz à cristallisation confuse (partie superficielle d'un rognon), une couche de cette substance blanche dont la surface est irrégulièrement mamelonnée, puis vient un espace vide de 0^{mm},5 environ, au delà duquel on trouve une croûte mince de calcédoine jaunâtre portant de petits cristaux de quartz qui s'individualisent dans les cavités irrégulières qu'elle contient. Une formation calcédonieuse hydratée (riche en opale) s'est à l'origine formée en zones concentriques mamelonnées; vers le centre il s'est

(1) A. LAGROIX, *Min. de Fr.*, t. III, p. 132.

déposé du quartz qui a donné des pointements dans les cavités. Postérieurement l'opale s'étant déshydratée s'est contractée et s'est transformée en silice blanche, mais la croûte de quartz qui garnit les cavités est demeurée en place avec une très légère couche de calcédoine adhérente; il en est résulté entre cette croûte et le reste de la masse, le vide signalé plus haut. Beaucoup plus rarement, la couche calcédonieuse est épaisse, très finement zonée et forme ainsi de véritables agates, dont les minces bandes noires sont souvent sur une ancienne cassure, en relief sur les parties blanches par suite de la faible résistance de ces dernières à l'usure.

Albite. — L'albite en cristaux blancs laiteux se rencontre parfois dans le quartz, au voisinage des épontes, avec béryl et cassitérite.

Muscovite. — La muscovite est très abondante dans les filons, et s'y présente sous divers aspects :

1° AUX ÉPONTES DES FILONS. — On trouve dans la grande tranchée des échantillons de quartz qui, au contact de la roche encaissante présentent une bande de quelques millimètres de cristaux de mica. Ceux-ci ont différentes orientations, mais leur clivage *p* est à peu près normal à l'éponte.

Ce mica paraît bronzé par suite de la présence entre les plans de clivages d'un peu d'oxyde de fer, mais il est en réalité incolore ($2E = 63^\circ$). Les macles suivant *m* avecaccolement suivant *p* sont fréquentes et les contours extérieurs nets assez rares. Ces cristaux contiennent en abondance, dans les clivages, de l'oxyde de fer en enduits d'épaisseur irrégulière; lorsqu'il est en faible quantité il se dispose en fins cristallites qui, orientés parallèlement en faces *m*, font entre eux des angles de 120° et 60° , le plan des axes optiques du mica étant la bissectrice de ces derniers. J'ai aussi constaté

qu'il se dispose parfois en traînées parallèles à des stries, traces de plans de glissements ($a^{\frac{5}{2}}$ selon M. Lacroix) bissecteurs de l'angle de 60° des faces m . Enfin ces micas présentent, parallèlement à m et à g^1 , des bandes alternativement plus et moins biréfringentes comme celles qui seront signalées plus loin.

On rencontre aussi en inclusion de petits faisceaux de cristaux aciculaires, très réfringents, très biréfringents, s'éteignant parallèlement à l'allongement qui correspond tantôt à n_g , tantôt à n_p ; jaunes clair en lumière naturelle et qui sont sans doute constitués par de la *brookite*.

2° DANS LES FISSURES DU QUARTZ. — Le quartz filonien présente des fissures dont il a déjà été question; celles-ci sont souvent garnies de mica en cristaux déformés et sans contours nets, se clivant difficilement, dont la face p reste parallèle aux parois. Il a un vif éclat doré, mais est, en lame mince, parfaitement incolore.

C'est une muscovite normale ($2E = 70^\circ$), un peu altérée.

3° DANS LES GÉODES. — On a, dès l'origine de l'exploitation, remarqué ces cavités du quartz qui, tapissées de lamelles de mica, contenaient de jolis cristaux de cassitérite, apatite, béryl, etc. Ce mica de coloration très pâle, en très fines lamelles hexagonales enchevêtrées, souvent maclées, est une muscovite.

Une préparation faite avec le mica qui se trouve avec apatite bleue près des épontes du filon, montre que celui-ci possède des stries à biréfringences variées, parallèles à g^1 ; les cassures $a^{\frac{5}{2}}$ y sont fréquentes ($2E = 66^\circ$). Il contient de petits cristaux de *brookite*. Ces muscovites contiennent parfois des sphérolithes de *cacoxénite* (voir ce minéral).

Phlogopite. — Signalée par de Limur comme se trouvant en enduits aux épontes des filons. Je ne l'ai pas retrouvée, il s'agit sans doute de muscovite colorée par l'oxyde de fer.

Apatite. — Assez fréquente en prismes bleus pâles parfois blanchâtres dans le quartz du filon principal. Ses cristaux peuvent atteindre 0^m,07 de longueur sur 0^m,01 de diamètre, les plus volumineux sont parfois creux et présentent à l'intérieur une multitude de petites facettes, ou sont remplis par le quartz. Rares vers le centre des filons, ils sont localement très abondants au voisinage des épontes ; les espaces laissés entre eux étant comblés par le quartz, auquel peut s'ajouter la muscovite. S'il reste des vides entre les prismes d'apatite, la muscovite est plus abondante et l'on passe progressivement à ces géodes où, au milieu des paillettes de mica on trouve des cristaux d'apatite isolés et riches en facettes.

L'apatite est un des premiers minéraux formés, on la rencontre englobée et moulée non seulement par le quartz mais encore par la cassitérite et le béryl ; celle des géodes cristallisée sur cassitérite est sans doute secondaire.

Béryl. — Le béryl se trouve à la Villeder dans la même situation que l'apatite, souvent confondue avec lui, si l'on en juge d'après les collections.

Au voisinage des épontes ses cristaux translucides ou opaques, d'un blanc jaunâtre, accolés entre eux, moulés par le quartz ou mélangés avec la muscovite, forment des amas où l'on rencontre parfois la cassitérite (¹). Lorsque l'exploitation était active on recueillait de très beaux cristaux parfaitement

(¹) Il existe dans la collection de pétrographie du Muséum un bloc de granulite recouvert de couches superposées : 1° de béryl ; 2° de cassitérite (éponte d'un filon).

transparents généralement incolores et riches en facettes ⁽¹⁾, dans les petites cavités du quartz, avec muscovite, et au milieu des masses de béryl opaque; on en a observé implantés sur cassitérite.

Topaze. — Signalée par de Limur qui en avait deux échantillons dont un seul était net et bien cristallisé. M. Lacroix en ayant demandé communication pour vérifier la détermination et mesurer le cristal, celui-ci fut perdu par la poste et ne fut jamais retrouvé. Il n'existe donc plus de preuve de l'existence de la topaze à la Villeder; je n'ai pu personnellement en rencontrer, ni dans les filons, ni dans les roches.

Tourmaline. — Ce minéral, non représenté à la mine, ne se rencontre qu'exceptionnellement, et seulement en fines aiguilles au voisinage des épontes, dans les filons encaissés dans la granulite (prolongement nord du grand filon). Par contre, dans le filon de Plinet, et dans ceux qui affleurent à l'est de la grande tranchée, elle est très abondante en cristaux enchevêtrés.

Fluorine. — Rencontrée lors des premières exploitations, elle n'a pas été retrouvée depuis. Je n'en ai pas vu, dans les véritables filons, mais j'ai pu constater qu'elle a existé en certaine abondance à la surface des rognons de quartz bacillaire dont il a été question plus haut. Plusieurs échantillons sont comme je l'ai déjà dit, recouverts d'une couche de calcédoine; celle-ci a souvent moulé et gardé la trace de cristaux cubiques de fluorine maintenant disparus ou les a même pseudomorphosés. Ces cubes ont de 0^{cm},2 à 1^{cm} de côté; ils ne portent aucune modification, mais présentent souvent la macle caractéristique.

⁽¹⁾ A. LACROIX, *Min. de Fr.*, t. II, p. 11. Les plus beaux venaient du puit du Lédou.

Graphite. — M. Lacroix le signale comme ayant été trouvé avec quelque abondance dans le quartz des filons. Je n'ai pas eu l'occasion de l'y rencontrer.

Pétroles. — On verra dans la suite (p. 153) que j'ai pu, par distillation dans le vide, extraire du quartz fétide un pétrole brunâtre et visqueux.

II. — MINERAIS DANS LES FILONS.

Cassitérite. — La cassitérite, plus ou moins abondante, se rencontre dans tous les filons un peu importants, elle est généralement brune, marron, grise, exceptionnellement jaune claire ou incolore.

a. CRISTAUX ISOLÉS EN PLEIN QUARTZ. — Généralement de taille peu considérable (1^{cm} en moyenne) bruns, marrons ou bruns rosé, parfois translucides, difficiles à extraire intacts; leurs faces sont parfois striées, mais toujours brillantes. Ils se trouvent isolés, parfaitement moulés par le quartz et limités de tous côtés par des faces cristallines.

b. CASSITÉRITE EN AMAS AVEC MISPICKEL ET BLENDE. — Des amas d'apparence grenue, formés de mispickel mélangé avec la cassitérite brun clair, sont fréquents au milieu du quartz. Parfois, au milieu de ces amas, il y a un peu de blende noire. Les préparations minces permettent de reconnaître que cette cassitérite est en cristaux à faces planes. Elle a sans doute cristallisé à peu près en même temps que le mispickel dont elle moule souvent les cristaux.

c. CRISTAUX ISOLÉS AUX ÉPONTES. — Entre la paroi granitique et le quartz de remplissage se rencontrent, surtout dans la partie haute du gîte, des cristaux très bien développés atteignant parfois jusqu'à 7^{cm} sur 3^{cm}, souvent maclés, ils

ne sont jamais engagés dans la granulite; leur surface, striée suivant l'axe principal, est terne et le minéral paraît opaque. Leur situation au milieu de produits micacés et au contact de la roche décomposée (partie haute des filons) permet de les retirer sans les briser; ce sont eux que l'on voit dans toutes les collections.

d. CASSITÉRITE EN AMAS AUX ÉPONTES. — En profondeur le minerai augmente par place, les gros et beaux cristaux (*c*) sont remplacés par des amas lenticulaires aplatis, collés contre l'éponte; la cassitérite qui les compose est grise et terne. Ce sont ces amas qui étaient recherchés par l'exploitation; ils se rencontraient surtout au toit, et à la rencontre de veines plus ou moins couchées.

e. CASSITÉRITE DANS LES GÉODES. — Beaux cristaux décrits et figurés dans les travaux de MM. de Limur, Baudot et A. Lacroix (*Min. de F.*, t. III, p. 223); ils sont toujours brillants, leurs faces prismatiques sont presque planes et leur teinte est foncée, la forme la plus répandue est $mh^1b^{\frac{1}{2}}a^1$ ces dernières très planes manquent souvent; les macles sont fréquentes. On en a rencontré implantés sur blende.

Mispickel. — Le mispickel, sans être abondant, est constant dans les divers filons du massif de la Villeder.

a. CRISTAUX ISOLÉS DANS LE QUARTZ. — Ils sont généralement allongés suivant l'arête e^1e^1 avec les faces $me^1e^2a^1$; a^1 est net et parfaitement brillant. Les faces de la zone pe^1 sont au contraire toujours striées parallèlement à l'arête e^1e^1 . Ces stries sont souvent extrêmement accentuées et le cristal semble formé d'une série de baguettes qui se terminent séparément par les faces m et a^1 , comme si l'on avait de nombreux cristaux accolés à axes parallèles. Le quartz moule

parfaitement ces cristaux, qui se détachent facilement en laissant une fidèle et délicate empreinte de leurs stries.

b. AMAS DANS LE QUARTZ. — Lorsque le mispickel devient abondant il se réunit en masses à aspect grenu qui se trouvent souvent contre les épontes mais forment des amas locaux et non de minces bandes régulières. Cette disposition s'observe très bien dans la carrière de Maupas. En pleine masse des filons on rencontre aussi de petites concentrations de mispickel finement grenu, ou en petits cristaux très voisins entre eux, mais séparés par le quartz; c'est au milieu de ces amas que l'on trouve fréquemment cassitérite et blende noire.

Divers essais de mispickel par voie sèche ne m'ont pas permis de décélérer l'or en quantité appréciable.

Pyrite de fer. — Elle est beaucoup moins fréquente que le mispickel, je l'ai pourtant rencontrée à Maupas avec une certaine abondance. Elle forme des amas présentant fréquemment des cavités en leur centre, tandis que ceux de mispickel sont toujours compacts ⁽¹⁾. Le minéral, presque homogène dans la cassure, cristallise en cubes. Aux faces *p* viennent souvent s'ajouter les modifications α^1 peu développées, mais très brillantes comme les faces *p*.

Il arrive fréquemment que lorsque l'on a détaché du quartz qui le moulait un cristal de mispickel, on s'aperçoit que l'empreinte qu'il a laissée, est en partie d'un jaune métallique très brillant dû, soit à un mince enduit pyriteux qui s'est formé entre les deux minéraux, soit plus souvent à la présence de petits cubes de pyrite qui, d'un côté parfaitement bien formés et noyés dans le quartz, concourent de l'autre avec ce dernier pour mouler le mispickel. On doit en conclure

(1) Ces amas de pyrite renferment d'ailleurs presque toujours un peu de mispickel, mais seule la pyrite cristallise dans les cavités,

que la cristallisation de la pyrite, qui semble avoir été contemporaine ou peu antérieure à celle du quartz, a été postérieure à la formation des cristaux de mispickel.

La minéralisation du quartz de la carrière du Redigaux, est très différente de celle des autres filons du massif; outre les minéraux dont il sera question plus loin, on y voit de très nombreux petits cristaux de pyrite $\frac{1}{2}b^2$ ne dépassant guère 0^{mm},5 de diamètre.

Molybdénite. — La molybdénite est signalée comme n'ayant été trouvée que lors des premières explorations. Elle est évidemment très rare mais on l'a rencontrée depuis dans les travaux du puits Saint-Michel ainsi que le prouve un échantillon que j'ai recueilli, dans des déblais provenant du fond. Il ne consiste d'ailleurs qu'en un enduit à la surface d'une granulite très modifiée mais très solide.

Galène. — Signalée par de Limur qui parle de « quelques cristaux dans une petite veine quartzreuse où ils sont presque noyés », je n'ai pu en retrouver.

Blende. — La blende se rencontre fréquemment, mais toujours en très faible quantité. On la trouve formant en plein quartz des mouches de quelques millimètres, et dans les amas de mispickel grenu dont il a déjà été question. Elle est noire, donne facilement de beaux clivages et semble avoir été parfois prise pour du wolfram.

Dans les morceaux de quartz provenant de la carrière du Redigaux (*voir ci-dessus*) se trouvent de nombreuses petites mouches de blende jaune miel.

Chalcopyrite. — Signalée par Bronne, elle paraît exceptionnelle.

Hübnerite. — Le *wolfram* a été signalé par Bronne comme existant en très petite quantité à la Villeder, mais personne ne paraît l'avoir rencontré depuis et je n'ai pu en trouver le moindre débris. Par contre le quartz de la carrière du Redigaux entre Le Zoir et Pourbelan contient avec pyrite et blende jaune un minéral brun rougeâtre possédant un clivage net et facile et un éclat adamantin dans la cassure; la poussière est jaune rougeâtre et la densité considérable. En poudre fine ce minéral attaqué par l'eau égale à l'ébullition laisse un résidu jaune d'acide tungstique; il a toutes les propriétés du wolfram, mais la coloration rouge l'en distingue. En écrasant très finement entre deux lames de verre divers wolfram, on constate au microscope que les petites particules ainsi obtenues sont parfaitement noires et opaques, sauf dans certains cas où les plus fines d'entre elles sont d'un brun rouge. Traitée de la même façon, la hübnerite de Pelagatos (Pérou) ⁽¹⁾ est jaune miel et celle de Valcroze d'un rouge franc. Le minéral dont il est question ci-dessus a, dans le même état, une teinte rouge vif passant au jaunâtre, les lamelles de clivage étant perpendiculaires à la bissectrice obtuse. On peut en conclure que l'on a affaire à de la hübnerite; je n'ai pu en faire l'analyse complète et précise, n'en ayant que quelques cristaux de 1^{mm} à 3^{mm}, profondément engagés dans le quartz, mais elle contient moins de 5 pour 100 de FeO, tandis que celle de Valcroze en contient 5,5 et que M. Lacroix a proposé de considérer comme hübnerite tous les échantillons qui, répondant à la formule (MnFe)WO₄, contiennent moins de 9,5 de FeO.

Fer titané. — A été signalé à la mine et dans les alluvions, mais très rare.

(1) *Bull. Soc. Min.*, t. XXXIII, 1910, p. 239.

Malgré quelques irrégularités on remarque que le plus généralement :

La cassitérite englobe des prismes de beryl et d'apatite parfaitement constitués.

La blende, la cassitérite et le mispickel se rencontrent en cristaux, en plein filon; lorsque tous trois se trouvent en amas, la blende est généralement au centre. D'autre part, la cassitérite moule le mispickel, et la pyrite contribue avec le quartz à garder l'empreinte des cristaux de mispickel.

Le quartz entoure parfaitement et de tous côtés les minéraux ci-dessus cités.

Le mica se rencontre en abondance dans les géodes et en enduit aux épontes, mais il ne pénètre pas dans le quartz dont il garnit au contraire les fissures.

Il semble que les minéraux aient, dans les filons, cristallisé dans l'ordre suivant :

Apatite. — Beryl. — Blende. — Mispickel. — Cassitérite. — Pyrite. — Quartz. — Mica.

Mais il faut se rappeler que j'envisage ainsi les minéraux inclus dans la masse du filon. Il est bien évident que la cassitérite trouvée dans les géodes est postérieure à la formation de ces dernières, que l'on y trouve des cristaux d'apatite et de beryl implantés sur cassitérite, etc., mais ce peuvent être là des effets de remise en mouvement postérieure.

III. — MINÉRAUX SECONDAIRES DANS LES FILONS.

Kaolinite. — On la rencontre parfaitement cristallisée dans les filons, mais toujours en très petite quantité. Elle épigénise le beryl, ses cristaux sont alors souvent remarquablement nets et permettent de vérifier les propriétés du minéral; la face g^1 est fréquente avec parfois un allongement suivant

pg^1 . Elle se rencontre aussi entre les feuillets du mica aux épontes des filons.

Phénacite. — Décrite par M. de Limur, M. Lacroix a reconnu qu'il s'agissait de *bertrandite* ⁽¹⁾.

Bertrandite. — Petits cristaux très aplatis suivant p ; h^1 et g^1 bien développés; se trouvent dans les cavités du quartz avec cassitérite, muscovite et béryl; c'est aux dépens de ce dernier minéral qu'ils se sont formés.

Limonite. — L'oxyde de fer est assez abondant à la mine au voisinage des affleurements. Le filon 3 présente de véritables veinules d'hématite brune de formation secondaire.

Scorodite. — De petits cristaux de scorodite vert pâle se sont formés aux dépens des cristaux de mispickel décomposés sur les affleurements. Ceux que j'ai recueillis sont extrêmement petits et accolés les uns aux autres de façon à donner de petites masses de quelques dixièmes de millimètres; on ne peut par suite déterminer les formes cristallines. La scorodite n'est pas très rare dans la grande tranchée; je l'ai aussi retrouvée avec un aspect très comparable sur un fragment de quartz provenant des environs de Trégranteur.

Symplésite. — On trouve au voisinage des affleurements une substance verdâtre, terne, compacte, entourant des morceaux de quartz et de mispickel aux dépens desquels elle semble s'être produite. De Limur l'a rattachée à la symplésite. C'est un hydroarséniate de fer impur ⁽²⁾, de compo-

⁽¹⁾ A. LACROIX, *Min. de Fr.*, t. I, p. 118.

⁽²⁾ *Id.*, t. IV, p. 473.

sition voisine de celle de la scorodite et non une espèce distincte.

Pharmacosidélite. — Signalée par de Limur.

Cacoxénite. — Les cristaux d'apatite et de cassitérite des géodes sont quelquefois recouverts de petits cristaux jaunes bruns groupés en sphérolithes, qui, détachés, sont souvent brisés et se présentent alors sous forme de houppes de fines aiguilles. De très jolis sphérolithes de cette même substance s'observent, bien isolés les uns des autres, dans les clivages de certaines muscovites (notamment celles des géodes). On constate que la biréfringence varie le long d'une même fibre, l'allongement étant toujours parallèle à n_g ; il y a enroulement autour de cette direction n_g , la biréfringence passant de $n_g - n_m$ à $n_g - n_p$. Au voisinage du centre du sphérolithe l'enroulement est très régulier pour toutes les fibres, de telle sorte que les anneaux concentriques de coloration variée sont nets et presque parfaitement circulaires.

IV. — MINÉRAUX DES ALLUVIONS.

Cassitérite. — Se trouve dans les alluvions anciennes et dans les sables du fond des ruisseaux. Dans le premier cas on la rencontre en débris plus ou moins arrondis et qui peuvent atteindre 5^{cm}; dans le second, elle est en grains de petite taille, noirs, brun foncé, brun clair, jaune paille ou même presque incolores (près de Trédion).

Or. — Durocher a le premier signalé l'or dans les alluvions, et Bronne indique comme particulièrement riches ceux des environs de Sérent et de Guéhenno; on peut le considérer comme se trouvant dans presque tous les dépôts alluvion-

naïres du massif, mais toujours en très faible quantité. Il provient évidemment des filons, bien que je ne l'ai jamais rencontré à l'état natif dans le quartz carrié et que les essais faits sur mispickel et pyrite ne m'aient jamais indiqué sa présence en quantité appréciable.

Mercure. — Durocher a trouvé dans la vallée des Haies, près de Sérent, et à Kervallon, près de Billio, en effectuant des lavages de sable, des globules de mercure amalgamant de l'or et de l'argent. Des recherches pour or ayant déjà été faites à cette époque dans la région, il est probable qu'il s'agit là de gouttelettes de mercure tombées d'une battée, car ce métal n'a pas été retrouvé depuis.

Silicates de métamorphisme. — Les lavages de sables permettent de recueillir divers silicates de métamorphisme provenant sans doute des schistes au voisinage de la granulite (¹). On trouve ainsi en abondance le *grenat almandin*, un peu de *disthène* et d'*andalousite* (²).

V. — MINÉRAUX CONTENUS DANS LES ROCHES.

Il est inutile de décrire les minéraux qui entrent dans la composition des roches, d'autant plus que celles-ci seront étudiées par ailleurs; je ne parlerai donc que de ceux qui sont en relation d'origine avec les filons, sont peu répandus,

(¹) Ch. BARROIS, *Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XV, p. 23. Pour l'étude des contacts des massifs granitiques, voir ce même auteur: *Le granite de Rostrenen*, etc. (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XII, 1884, p. 1).

(²) C'est de Saint-Alouestre que proviennent les plus jolis cristaux d'andalousite rose; j'en ai rencontré un fragment transparent sur un débris de quartz aux environs de la Ville Halais.

ou présentent des particularités sans rapport avec leur rôle pétrographique.

1° MINÉRAIS. — Sont souvent abondant, dans la roche au voisinage des filons.

Mispickel. — La granulite modifiée (type C), décrite plus loin, contient souvent des cristaux de mispickel parfaitement nets. M. de Limur les a signalés comme très aplatis; en réalité, ils sont le plus souvent comparables à ceux qui sont isolés dans le quartz filonien; dans certains cas ils ont une forme tabulaire et apparaissent comme de longues aiguilles sur la cassure de la roche qui les contient. Si le mispickel est très abondant, il forme de nombreux amas finement grenus (0^{cm},5 de diamètre en moyenne), assez régulièrement répartis, quelquefois mélangés d'un peu de pyrite de fer.

Pyrite. — La pyrite est très rare dans la granulite, mais elle remplit parfois de minces fissures qui s'y sont produites; lorsqu'on les ouvre au marteau, on voit la pyrite en petits cubes très nets implantés dans le revêtement quartzeux qui recouvre les parois, mais non encastrés dans la roche à laquelle ils sont postérieurs.

2° SILICATES. — *Tourmaline* — Au voisinage des filons où la tourmaline est abondante, la granulite très modifiée en contient souvent de véritables lits. C'est une tourmaline noire en aiguilles enchevêtrées qui, mal soutenues par leurs voisines, s'écrasent sous l'ongle.

Dans la même situation les schistes sont souvent transformés en une véritable tourmalinite.

Des prismes de tourmaline pouvant atteindre 5^{cm} sur 1^{cm} se rencontrent parfois dans les veines de pegmatite.

Grenat. — Le grenat se rencontre dans certaines granulites et dans les aplites en filons.

Muscovite. — Dans les roches très modifiées du voisinage des filons, s'observent des cristaux (1^{mm} à 3^{mm}) à formes extérieures nettes, présentant des zones d'accroissement concentriques à biréfringences variées parallèles aux contours extérieurs; les plus jolis proviennent de la roche décrite page 132, je les ai étudiés dans une Note antérieure (*Bull. Soc. Min.*, t. XXXIV, p. 253).

D'autres cristaux plus petits, très souvent empilés suivant p à axes parallèles et par taille progressivement décroissante, se détachent aisément de la roche à structure miarolitique décrite page 134. Une lamelle suffisamment mince pour éviter les phénomènes de superposition montre l'existence de bandes concentriques ne s'éteignant pas toutes au même moment (*Bull. Soc. Min.*, t. XXXV, p. 100).

D'autres micas qu'il est intéressant d'examiner au point de vue purement minéralogique, sont ceux que l'on rencontre dans la roche qui constitue ces deux dômes situés au sud-ouest de Guéhenno et que j'appelle la grée Magnan et la grée Maréchal, du nom des anciens moulins qui y étaient construits. Cette roche à grain fin, qui sera étudiée plus loin, présente des cristaux de muscovite qui atteignent $0^{\text{m}},01$ sur $0^{\text{m}},005$ et $0^{\text{m}},002$ d'épaisseur; ils sont aplatis suivant p et souvent limités par des faces nettes g^1 , m et des pyramides en zone avec p et m ; l'allongement suivant pg^1 , ou une des arêtes pm , est toujours sensible. Ils présentent parfois des zones à colorations variées entre nicols croisés, mais celles-ci sont beaucoup moins nettes que dans les micas signalés plus haut. A l'intérieur de ces cristaux on remarque de petits individus de biotite. Ces derniers ne sont pas seulement de minces lamelles intercalées entre les feuillets de la muscovite,

ils ont une épaisseur appréciable et, comme ils se clivent moins facilement que leur hôte, il arrive fréquemment qu'ils restent en relief sur une lame de celui-ci. Ils sont en assez grand nombre, irrégulièrement distribués, souvent superposés les uns aux autres, et presque toujours plus nombreux au voisinage du centre.

Ces cristaux de biotite sont presque parfaitement uniaxes et très colorés en brun foncé; leurs angles sont souvent arrondis comme s'ils avaient subi un commencement de résorption de la part du magma. Les faces présentées sont $pm(d^{\frac{1}{2}})g^1$, mais le développement des individus semble ne pas s'être toujours fait de la même façon : les uns auraient leurs faces g^1 très réduites, d'autres seraient allongés suivant pg^1 , d'autres encore suivant $pd^{\frac{1}{2}}$; mais l'impossibilité de déterminer avec certitude g^1 à cause de la petitesse de l'angle des axes optiques de la biotite, et de la superposition des figures avec celle de la muscovite, ne permet pas de distinguer avec certitude les diverses faces les unes des autres, les angles qu'elles font entre elles étant tous de 120° . Il existe toujours une relation d'orientation entre les cristaux de biotite et la muscovite qui les englobe; dans un même individu de muscovite toutes les biotites ont même orientation (faces g^1 parallèles à celles de leur hôte); lorsqu'on a affaire à une macle, l'orientation des biotites change avec celle de leur hôte, les faces g^1 restant très généralement parallèles entre elles, mais il arrive que dans la partie maclée les faces g^1 des deux micas soient perpendiculaires les unes aux autres. Ce fait est d'ailleurs très rare.

CHAPITRE IV.

LES ROCHES.

I. — ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE DU MASSIF.

1. But de cette Étude.

Lorsqu'on a étudié les filons, la nature de leur remplissage, les minéraux qui s'y rencontrent, leurs rapports réciproques, leur allure, leurs variations en direction et en profondeur, ainsi que cela a déjà été fait, c'est sur les épontes que l'on est amené à porter son attention. Il est en effet tout naturel de penser qu'un remplissage de fracture, de quelque façon qu'il se soit produit, a été précédé ou accompagné du passage de gaz ou de solutions qui ont dû réagir sur les roches voisines, dont les modifications donneront quelques indications sur la nature des agents physiques et chimiques qui ont pu intervenir.

J'ai déjà dû expliquer pourquoi l'altération de la roche de la grande tranchée était d'origine atmosphérique et non filonienne, et j'ai fait remarquer qu'en profondeur la granulite était fraîche et résistante. Cela est un fait sur lequel on ne saurait trop insister, mais on ne peut dire qu'elle se présente alors au contact des filons avec les mêmes caractères qu'en plein massif; elle n'est nullement altérée, mais elle est profondément modifiée. Les différences présentées par les échantillons prélevés, les uns loin des filons et les autres

à leur contact, sont déjà très visibles à la main et se constatent aisément sur la roche en place, mais l'examen des préparations minces au microscope et l'analyse chimique permettent de préciser la nature des transformations subies.

Dès que l'on veut préciser en quoi la roche voisine du filon a subi son influence, on se heurte à une difficulté considérable, les différences qui séparent la granulite normale fraîche de tel ou tel autre échantillon peuvent en effet tenir à deux causes principales :

1° Altération produite par les eaux venues de la surface et qui peuvent s'être chargées de sels divers en traversant les couches les plus superficielles ;

2° Modifications caractéristiques du voisinage d'une fracture.

Établir d'une façon précise ce qui revient à chacune de ces causes est un travail délicat ; alors même que par l'examen d'un grand nombre de préparations convenablement choisies on est arrivé, au moins pour les faits les plus importants, à déterminer la part de l'altération d'origine atmosphérique, il faut encore vérifier si les changements constatés dans la composition minéralogique de la roche au voisinage des filons sont bien dus à leur action, s'ils ne s'observent pas ailleurs, et rechercher l'époque relative à laquelle ils se sont produits.

Dans ce qui va suivre j'étudierai donc les types les plus importants du granite, d'après les échantillons les plus frais que j'ai pu me procurer. Bien que le granite soit par lui-même une roche banale, j'insisterai un peu sur sa description afin de pouvoir discuter la nature des modifications qu'il a localement subies. Je signalerai aussi certaines roches spéciales (pegmatites, aplites), dont il y aura lieu de rechercher les rapports avec les formations métallifères.

Passant à l'altération atmosphérique du type normal ⁽¹⁾, je m'efforcerai d'en faire saisir les diverses étapes, afin que l'on puisse être certain, d'une part que les roches pourries et sableuses n'ont pas été ainsi décomposées lors du remplissage des filons; d'autre part que les phénomènes d'albitisation observés ne sont pas le résultat de l'action des agents atmosphériques ⁽²⁾.

Je décrirai ensuite quelques types de roches broyées prouvant la réalité des efforts et des déplacements dont il a été question dans les Chapitres précédents. Je pourrai alors aborder l'étude des modifications effectuées en profondeur et des transformations parfois intenses subies par la roche au voisinage des filons.

2. La granulite.

a. TYPE MAUPAS. — Tout le massif ⁽³⁾ est formé d'une granulite à peu près identique. On la trouve fraîche et facile à étudier en place dans la carrière de Maupas. Elle n'a que très légèrement été influencée par le voisinage des schistes ⁽⁴⁾, et c'est là que je prendrai un premier type, ce qui aura l'avantage, lorsque nous étudierons en ce même point les modifications filoniennes, de comparer entre eux des échantillons provenant d'un même gisement.

Cette granulite (lorsqu'elle n'a pas subi l'influence d'un

(¹) J'appelle ainsi le type qui, à part quelques petites variations de détail, est de beaucoup le plus répandu; l'altération des types plus rares est très comparable.

(²) Ce qui paraît parfois le cas: *Les syénites néphéliniques des îles de Los*, A. LACROIX, p. 96 (*Nouv. Arch. du Muséum*, 5^e série, t. III).

(³) Au moins jusqu'à Kerhour (4^{km} ouest de Guéhenno); je n'ai, plus à l'Ouest, qu'été reconnaître la faille de Saint-Alloestrestre, mais sans parcourir le pays en détail.

(⁴) Voir Ch. BARROIS, *Les modifications et les transformations des granulites du Morbihan* (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XIV).

filon) est une roche qui semble très fraîche, elle est dure, très tenace, et sa résistance au choc du marteau est considérable. La teinte en est claire par suite de la faible proportion des éléments colorés, la structure est grenue et le grain assez fin ; les éléments ayant en moyenne 0,003 (les plus grands feldspaths ont 0,003 sur 0,005). L'examen à la loupe permet d'y reconnaître immédiatement :

1° *Quartz* légèrement enfumé ; il paraît former environ le quart de la masse totale ;

2° *Feldspaths* très abondants, les uns sont blancs avec un éclat vitreux sur les clivages et présentent souvent la macle de Carlsbad, tandis que les autres, qui paraissent un peu jaunâtres, n'ont que des clivages beaucoup moins nets ;

3° *Muscovite* peu abondante, cristaux parfois hexagonaux ;

4° *Biotite* un peu plus abondante, parfois légèrement verdie (commencement de transformation en chlorite).

Lorsqu'on examine une préparation mince, on s'aperçoit immédiatement que la roche n'est pas en réalité parfaitement fraîche.

Le *quartz* est en grandes plages généralement formées de plusieurs cristaux à contours très irréguliers, étroitement enchevêtrés les uns dans les autres. Parfois ils semblent avoir été originellement distincts et à orientation propres, mais so vent on doit reconnaître qu'un grand cristal primitivement homogène a donné naissance à tous ces individus enchevêtrés ; chacun de ces derniers a d'ailleurs une extinction onduleuse ou « en mosaïque ». Les inclusions y sont fréquentes, et en dehors de quelques petits cristaux de mica et le feldspath qui se sont trouvés englobés, on reconnaît de petits prismes (0^{mm},03) bipyramides de *zircon*, et des cristaux aciculaires, incolores, d'une finesse telle qu'il est difficile d'apprécier leurs propriétés ; on peut toutefois

s'assurer qu'ils sont plus réfringents et plus biréfringents que le quartz et semblent s'éteindre parallèlement à leur allongement qui est positif. Leur nombre est, par endroits, considérable et l'examen de la préparation avec un fort grossissement et en faisant varier la mise au point permet de s'assurer qu'ils s'enchevêtrent en tous sens, leur extrême finesse empêchant seule de les déterminer. On verra plus loin que ces mêmes cristaux ont été retrouvés dans certains feldspaths à cristallisation tardive; ils se sont formés en même temps que les derniers éléments solidifiés. Les inclusions liquides sont rares et de très petite taille ($0^{\text{mm}},006$ en moyenne), les plus grosses laissent voir un libelle. Le quartz moule les cristaux de mica et de plagioclase, il s'est donc solidifié tardivement, mais il s'observe aussi sous forme de sections hexagonales ou rectangulaires au milieu des feldspaths. La structure n'est donc pas simplement granitique, elle est vraiment granulitique.

Les *feldspaths* sont de deux sortes, les uns peu biréfringents possèdent toutes les propriétés optiques qui caractérisent le *microcline*. Ses cristaux sont peu altérés, et ne présentent en lumière naturelle que quelques traces de coloration marron sans être en aucun point devenus opaques; la lumière polarisée n'y fait apparaître aucun produit micacé.

Le *microcline* a cristallisé tardivement; ses individus volumineux, mais peu nombreux, tendent bien à prendre la forme générale qui caractérise ce minéral, mais on les voit englober souvent de petits cristaux de mica, plagioclase et même de quartz à formes nettes, et sur leurs bords mouler toujours les minéraux voisins, sauf le quartz dont la plus grande partie lui est encore postérieure.

C'est d'une façon presque constante que ces feldspaths sont parcourus de facules d'albite; les unes, fines et régulières, ont la même orientation (faces g^1 parallèles) que le

microcline qui les contient, mais souvent on les voit se terminer dans un cristal d'albite noyé au milieu du feldspath potassique ou qui se trouve sur les bords à son contact; elles sont alors en quelque sorte les prolongements de cette albite qui a cristallisé avant le microcline et dont l'orientation est quelconque. Quelle est l'époque de la formation de ces facules d'albite? Elles peuvent être contemporaines de la cristallisation du microcline ou, au contraire, être secondaires et s'être développées après la solidification de la roche. On verra plus loin que les formations d'albite secondaire ne sont pas rares; pour le cas étudié en ce moment il faut remarquer que les échantillons les plus frais présentent une aussi grande abondance des facules d'albite que ceux qui le sont moins; je pense donc que leur formation est contemporaine de la cristallisation du microcline, ou l'a suivie de très peu et serait alors due à l'action des émanations sodiques dont l'action est, en d'autres points, évidente.

Les autres feldspaths, toujours plus réfringents et biréfringents que le microcline, présentent constamment la macle de l'albite; les extinctions permettent de caractériser l'albite. Les cristaux assez nombreux, toujours moins volumineux que ceux de microcline à contour net, sont légèrement aplatis suivant g^1 . Cette albite est toujours altérée, elle est devenue noirâtre et presque opaque en lumière naturelle, par suite de la présence d'une grande quantité de particules amorphes fortement colorées. A celles-ci s'ajoutent de nombreuses lamelles de séricite; les unes relativement de grande taille se sont développées dans les clivages, les autres extrêmement petites sont irrégulièrement réparties. L'altération n'est pas régulière mais souvent plus accentuée suivant certaines zones, ce qui prouve que la composition du plagioclase n'est pas rigoureusement uniforme.

Les cristaux d'albite englobent parfois d'autres cristaux de

même nature, mais de petite taille, plus souvent des micas et même du quartz. Il arrive assez fréquemment que certains d'entre eux contiennent des fragments de microcline facilement reconnaissable à ses propriétés optiques, et plus rapidement aux différences d'altération des deux feldspaths. Nous avons vu que d'une façon générale le microcline moulaît tous les autres éléments, sauf le quartz en grandes plages, mais l'existence de ces débris corrodés et résorbés, partiellement contenus dans l'albite, prouve que l'ordre de cristallisation n'a pas été aussi simple qu'on aurait pu le croire. Un très bon exemple est le suivant : un grand cristal d'albite maclé suivant la loi de Carlsbad présente en plusieurs points de petits îlots de microcline à contours déchiquetés qui, dans chaque individu de la macle, ont une orientation identique, alors même qu'il n'existe entre eux aucune continuité. Si, au contraire, on compare des îlots inclus dans des parties différentes de la macle, on est amené à constater que le cristal primitif de microcline était maclé comme l'est maintenant celui d'albite orienté sur lui.

Ces combinaisons d'albite et de microcline se présentent aussi sous un autre aspect ; toute une partie d'un cristal que des clivages réguliers parcourent d'une extrémité à l'autre, est formée de microcline, tandis que le reste est en albite. Cela s'observe surtout bien sur les sections voisines de g^1 ; les clivages p passent sans déviation de l'un à l'autre des feldspaths qui s'éteignent l'un à 5° , l'autre à 20° de ce clivage, tandis qu'en lumière convergente tous deux sont peu, mais inégalement, inclinés sur la bissectrice n_g . La ligne de démarcation entre les deux feldspaths, facilement visible par suite des différences de biréfringences et d'altération, est souvent un peu irrégulière, et fréquemment le microcline contient de petites plages d'albite qui augmentent en nombre vers le contact. Il est certain qu'il y a eu, à un moment

donné, résorption du microcline déjà formé ; mais a-t-elle eu lieu avant la solidification de la roche (résorption magmatique) ou est-elle due à un phénomène secondaire. Je crois à la réalité de la première de ces hypothèses ; il y a eu deux cristallisations distinctes de microcline, la seconde étant postérieure à celle de l'albite contenant le microcline résorbé, car les cristaux d'albite ont souvent des formes parfaitement nettes, et sont moulés par les feldspaths potassiques de seconde formation.

La granulite présente de la *muscovite* ⁽¹⁾ et de la *biotite*. La première, dont l'angle des axes $2E_j$ est de 65° environ, n'est pas très abondante ; ses cristaux d'assez grande taille (2^{mm}) sont tantôt moulés par le quartz et les feldspaths, tantôt au contraire moulent l'albite. Les cristaux de biotite ne paraissent pas sensiblement plus nombreux et sont assez irrégulièrement répartis. L'angle des axes est presque nul. Les auréoles polychroïques y sont fréquentes et accentuées, elles se manifestent autour d'inclusions de *zircon* souvent assez volumineuses pour permettre de déterminer les propriétés optiques et notamment le signe positif de ce minéral. La biotite est souvent un peu altérée, elle devient alors verdâtre et sa biréfringence diminue (passage à la chlorite).

Comme minéraux accessoires les plus importants, il faut signaler le *zircon* (dans quartz et mica) et l'*apatite* en cristaux relativement volumineux mais peu abondants, moulés par tous les autres éléments.

On peut donc considérer que l'ordre de cristallisation a été le suivant :

1° Apatite. Zircon. — 2° Biotite. — 3° Albite. — 4° Micro-

(¹) Il existe aussi beaucoup de mica secondaire (séricite), dont il a été question à propos de l'albite.

cline. — 5° Résorption du microcline et nouvelle formation (la plus importante) d'albite. Une partie du quartz commence à cristalliser. — 5° Muscovite (certains cristaux sont antérieurs au plagioclase). — 7° Microcline avec ou sans facules d'albite et quartz granulitique. — 8° Quartz.

Pendant la cristallisation des derniers feldspaths et celle du quartz se formaient ces longues aiguilles incolores très réfringentes déjà signalées.

En résumé cette roche est une véritable granulite tant par suite de la présence du quartz automorphe dans les feldspaths, que par suite de celle de la muscovite. L'altération, bien que faible, est très nette et se manifeste surtout sur les feldspaths plagioclases, ce qui est important à noter puisque nous verrons qu'il n'en est pas toujours ainsi. La cristallisation semble s'être effectuée lentement, en profondeur, sans aucun temps d'arrêt ni aucune variation dans les conditions extérieures; les modifications de la composition chimique du magma ayant toutefois amené une résorption presque complète d'une première cristallisation de microcline.

b. TYPE PROFOND. — Un autre type intéressant est fourni par le granite bleuâtre provenant du fond du puits Saint-Michel; en dehors de son intérêt pétrographique propre, il a celui de provenir des étages les plus bas de la mine, et de représenter peut-être ce qu'est la roche en profondeur dans tout le massif. Ses blocs se rencontrent en abondance à la surface au voisinage du puits dont il a été extrait; son grain est très comparable à celui de la granulite précédente; comme elle, il paraît très frais et sa résistance au choc du marteau est considérable. Seule, sa coloration permet de le distinguer immédiatement; elle est due à ce que le mica noir est notablement plus abondant, et surtout à ce que les feldspaths, au

lieu d'être blancs tirant à peine sur le gris jaunâtre, sont gris bleuâtre.

L'examen microscopique indique que le *quartz* est très comparable à celui de la granulite de Maupas; les mêmes inclusions de zircon et les longues aiguilles incolores s'y retrouvent, celles-ci très abondantes; les inclusions liquides sont rares et de très petite taille. Le point le plus intéressant à noter à propos de ce minéral est l'absence absolue de petits cristaux automorphes englobés par les feldspaths; il moule tous les autres éléments et a cristallisé le dernier.

Ce sont les feldspaths qui caractérisent ce type. On y retrouve bien le *microcline*, mais ses cristaux au lieu d'être grands, assez nombreux et, malgré leurs contours imprécis, avoir quelquefois une forme générale qui est celle d'individus librement développés, sont plus rares et cristallisés de toute évidence après les plagioclases; ils sont réduits à remplir les espaces vides que ces derniers ont laissés entre eux. Quant aux plagioclases, ils sont très abondants et leurs sections sont presque toujours limitées par des droites, trace des faces planes qu'ils présentent; on y reconnaît *p*, *m*, *t*, *g*¹, *a*¹, avec un allongement peu considérable suivant *mm* et un léger aplatissement suivant *g*¹.

C'est l'*oligoclase* et non plus l'albite comme dans le type Maupas qui constitue le feldspath dominant de ce granite. Les cristaux zonés sont la règle; les différentes zones présentent entre elles des passages brusques, ou au contraire, parfaitement progressifs, avec déplacement continu de la bande éteinte lorsqu'on tourne la platine du microscope. Les sections favorables montrent que l'acidité augmente généralement vers la périphérie; les parties voisines des bords laissent voir par exemple une bissectrice (*n_g*) bien centrée et s'éteignent sous un angle de 12°, alors que dans la partie centrale la bissectrice (également *n_g*) correspond à

un plus grand écartement d'axes, est moins bien centrée, et que l'angle d'extinction est de 5° . Sur plusieurs sections voisines de cette même orientation (perpendiculaire à la bissectrice de l'angle aigu des axes), on constate toujours que l'angle d'extinction augmente vers la périphérie pendant que la biréfringence croît et que la réfringence décroît légèrement. Il faut conclure que ces feldspaths essentiellement formés par l'*oligoclase* passent sur leurs bords à une *oligoclase-albite* très pauvre en chaux. Le centre n'est pas la région la plus basique du cristal; ce noyau, qui a généralement la même forme que le cristal complet, et un diamètre égal à deux fois la largeur de ses bordures, est souvent un peu moins calcique que la première zone qui l'entoure; ce n'est qu'au delà que l'acidité va en croissant.

Tandis que les plagioclases du type Maupas contenaient fréquemment des débris de microcline plus ou moins déchiquetés, sur lesquels ils s'étaient orientés, ceux du type profond n'en contiennent que plus rarement, et, dans ce cas, on peut constater qu'ils sont toujours, bien que situés au centre du plagioclase, entourés d'une petite portion où ce dernier est plus acide et possède la biréfringence et les extinctions des parties périphériques (albite). Enfin, ces plagioclases, toujours notablement altérés par suite du développement de produits terreux et micacés, le sont seulement dans certaines de leurs parties; ce sont les plus basiques qui ont été atteintes, ce qui est surtout frappant pour les auréoles acides qui entourent les débris de microcline, et lorsqu'au milieu de la région la plus acide une zone par hasard plus calcique s'étant formée, est complètement altérée, tandis que les parties voisines sont restées limpides.

Les micas sont très comparables à ceux du type Maupas, la *muscovite* est un peu plus rare, mais la *biotite* est plus abondante; elle est fraîche ou très faiblement altérée. Là encore

les auréoles polychroïques sont nombreuses et intenses, mais les inclusions de *zircon* qui les déterminent sont généralement de plus petite taille.

L'*apatite*, un peu moins fréquente, est encore plus abondante que dans la majorité des granites (prismes atteignant 0^{mm},4 de diamètre). Ce type de profondeur est donc un granite à deux micas.

Une intéressante particularité de ce granite est l'abondance du *quartz vermiculé* dans les feldspaths. C'est d'une façon presque constante qu'on voit dans les microclines des gouttelettes d'un feldspath plus réfringent et plus biréfringent remplies de fines veinules courbes de quartz. Très souvent, elles sont le prolongement de plagioclases voisins dont elles possèdent l'orientation; il est même parfois possible d'y suivre la continuation des clivages et des macles, mais on doit remarquer que leur biréfringence est, malgré la communauté d'orientation, généralement plus élevée que celle de la partie principale, et l'ensemble de leurs propriétés permet de s'assurer qu'elles sont formées d'un feldspath très acide voisin de l'albite. C'est ainsi qu'une section d'oligoclase perpendiculaire à n_g , s'éteignant sous un très petit angle avec le clivage p , est entourée d'une bande dans laquelle l'angle d'extinction devient de plus en plus grand à mesure qu'on se rapproche du bord, pendant que l'angle des axes diminue, et qu'elle se continue en gouttelettes à quartz vermiculé qui s'éteignent sous des angles encore plus considérables.

On peut remarquer que ces portions de feldspath qui passent ainsi très souvent d'une façon tout à fait insensible à un cristal volumineux, paraissent greffées sur ce dernier postérieurement à sa formation. C'est en effet parfois sur une face originellement plane que ces bourgeons ont pris naissance, et leur production plus récente paraît surtout frap-

pante lorsque, bien que de même orientation et en continuation parfaite avec le cristal qui les porte, ils sont beaucoup plus biréfringents et ne s'éteignent pas en même temps que lui, ce qui arrive lorsque ce dernier est resté assez basique jusqu'au bord. Il est possible d'ailleurs de reconnaître même en lumière naturelle la limite de ces bourgeons ; ils contiennent en effet toujours en grande abondance ces aiguilles incolores très fines, très réfringentes, à biréfringence élevée et à allongement positif qui se rencontrent dans le quartz. C'est un fait constant et que j'ai vérifié sur plusieurs préparations que, fréquentes dans le quartz, elles manquent, le plus souvent, dans le plagioclase, existent parfois en petite quantité dans le microcline, mais sont toujours très abondantes dans ces gouttelettes de plagioclase qui pénètrent les microclines, qu'elles présentent ou non du quartz vermiculé.

Ces observations ⁽¹⁾ prouvent que ces portions de plagioclase sont postérieures aux parties principales, elles sont également postérieures au microcline dans lequel elles se sont développées, et même à la consolidation parfaite du granite. Leur production est la conséquence d'une modification secondaire de la roche, modification dont on peut rechercher les causes et l'âge relatif à celui de la solidification complète du magma ⁽²⁾.

Les origines des transformations secondaires que peut subir une roche sont internes ou externes ; les causes immé-

(1) Elles concordent avec celles de M. Becke dans G. TSCHERMAK : *Min. und Pet. Mittheilungen*, 1908, p. 377.

(2) Comme on a attribué le développement de bourgeons feldspathiques à quartz vermiculé aux actions dynamiques subies par les granites ou à des phénomènes de contact, il est intéressant de signaler que c'est dans le type profond que s'observent ces formations et qu'elles ne se remarquent, au contraire, ni dans les types de bordure ni dans les régions broyées.

diates des modifications, généralement d'ordre chimique, sont nombreuses et beaucoup sans doute sont encore inconnues; on peut néanmoins diviser les plus fréquentes d'entre elles en certains types bien déterminés. Lorsqu'un magma, quel que soit son état, commence à cristalliser, les cristaux les premiers formés pourront, par la suite, n'être plus en équilibre chimique avec le résidu qui réagira sur eux et donnera lieu à des *résorptions magmatiques*.

Une fois la cristallisation terminée, la roche encore chaude est parcourue et pour ainsi dire imbibée de vapeurs variées qui n'auront pas toujours une composition telle qu'elles ne puissent attaquer la partie solidifiée. Il pourra alors se produire une série de modifications dont nous retrouverons la trace, soit qu'il s'agisse de transformations moléculaires, disparition des éléments primitifs, ou production de cristaux nouveaux. Mais, tandis que ces émanations agissent sur toute la masse rocheuse étudiée ou tout au moins sur une partie importante de celle-ci (partie supérieure ou périphérique par exemple), il arrivera fréquemment qu'elles suivront de préférence certaines directions selon lesquelles leur marche sera facilitée par des fissures. Leur action se fera, là, sentir avec plus de force, mais souvent d'une façon un peu différente, tant par suite de la plus grande énergie et de la plus grande vitesse des réactions, qu'à cause des différences qui pourront exister entre les éléments gazeux qui imprègnent la roche et ceux qui circulent dans les fissures. Nous avons donc lieu de distinguer deux espèces de modifications pneumatolitiques qui, souvent très voisines, peuvent être très nettement distinctes : je les appellerai *transformation pneumatolitique interne* et *transformation pneumatolitique de fissures* ⁽¹⁾.

(1) M. A. Lacroix, qui a montré l'importance des phénomènes pneumato-

Enfin, en allant encore plus loin, nous pouvons penser au cas où la roche s'étant, sous l'influence d'une cause quelconque, brisée, les fractures ainsi produites donneront passage à des vapeurs ou à des solutions souvent métallifères, qui, par leur condensation ou dépôt, fourniront un remplissage filonien. Elles pourront modifier la roche des éponges et donner lieu à des *transformations filoniennes*.

Ces quatre types de modifications d'origine profonde pourront produire des effets très différents suivant la nature du magma primitif considéré. Ce sont des types commodes permettant d'indiquer rapidement le processus qui paraît avoir été suivi, mais il n'y a pas eu d'arrêt dans l'évolution de la roche et tous les intermédiaires existent entre eux.

Les transformations filoniennes nous font passer presque insensiblement aux transformations d'origine superficielle. En effet, si certaines d'entre elles se sont effectuées sous l'influence d'agents chimiques tous issus de la profondeur, il en est d'autres qui se sont produites alors que la masse éruptive semblait avoir atteint une stabilité définitive par suite de la circulation d'un mélange des éléments d'origine interne avec les eaux venues de la surface et apportant avec elles les sels dissous durant leur descente. Les modifications produites par les eaux alors qu'elles exécutent dans la roche un mouvement de haut en bas sont celles que je considérerai comme dépendant de *transformations d'origine externe ou atmosphérique*; là encore, il y aura trois cas à considérer suivant que ces eaux sont simplement chargées d'oxygène et d'un peu d'acide carbonique, ou transportent des sels empruntés à la roche elle-même, ou à d'autres terrains préalablement traversés.

litiques, réunit ces deux stades de transformation sous le nom d'autopneumatolyse.

Sans parler ici des phénomènes dynamiques ni de métamorphisme, les transformations subies par une roche peuvent donc être :

D'origine profonde :	{	magmatiques.	{	autopneumatolise.
		pneumatolitiques internes		
		pneumatolitiques de fissures		
		filoniennes.		
D'origine externe :	{	sans sels dissous.		
		avec sels	{	venant de la roche
				elle-même;
		dissous	{	venant de l'extérieur.

La production des gouttelettes de plagioclases acides avec quartz vermiculé dans le microcline est due, à mon avis, à une transformation pneumatolitique interne. La roche s'est solidifiée lentement en profondeur, les éléments cristallisant dans l'ordre normal pour les granites à structure grenue ordinaire; c'est-à-dire qu'après l'apatite et les micas, les plagioclases ont pu prendre des formes nettes, les feldspaths potassiques et le quartz ont enfin rempli les vides existants. Mais déjà pendant la cristallisation des plagioclases, le résidu devenait de plus en plus riche en silice et en alcalis, alors que la chaux tendait vers 0, de telle sorte que les parties périphériques étaient les plus acides. Dès le début de la formation des microclines, commençaient à apparaître les cristaux aciculaires incolores, et leur production augmentait lors de la cristallisation du quartz où ils se rencontrent en grand nombre. C'est alors que les vapeurs qui circulaient dans la masse à peine solidifiée durent servir de véhicule à la soude; sous leur influence, les microclines devenus instables par rapport au milieu se laissèrent localement attaquer. En réalité, il n'y eut pas successivement dissolution puis apport, mais simplement un départ de potasse remplacé par la soude;

toutefois l'édifice cristallin qui correspondait au microcline a été entièrement détruit, c'est le plagioclase qui a poussé en son intérieur, et comme ce feldspath nouvellement formé tout en étant très acide n'est pourtant pas de l'albite vraie, il a nécessité pour sa formation moins de silice que n'en contenait le microcline, et c'est l'excès de celui-ci qui a provoqué la formation du quartz vermiculé ⁽¹⁾.

c. TYPE NORMAL. — Entre les deux types ainsi décrits, se place le type normal. C'est celui qui paraît le plus fréquent à l'intérieur du massif. La structure est moins nettement granulitique que celle du type Maupas, auquel il ressemble beaucoup à première vue. Le quartz bipyramidé se rencontre encore dans le microcline, mais il n'y en a plus dans le plagioclase, qui, plus basique, est moins abondant; l'apatite est plus rare, et le grain un peu plus gros, surtout dans la partie ouest du massif ⁽²⁾. On rencontre ce type normal dans toutes les fouilles et notamment dans les carrières : les Châtelets, Sainte-Catherine, M^{lin} de Tréfarrowet, Hôpital au Robin, M^{lin} de Hurcul (près Guehenno), Kerhour, environs de Billio, de Lizio, etc. ⁽³⁾.

Il y a lieu de croire que sur l'emplacement de la grande tranchée, la roche était également moins granulitique qu'à Maupas. J'ai, en effet, été la recueillir au fond du puits n° 1, à une profondeur suffisante, là où elle est déjà solide; on peut

(1) Voir sur ce sujet les observations de M. Becke (note page 97) et le résumé des opinions émises sur la formation de la myrmékite (R. TRONQUOY, *Bull. Soc. Min.*, t. XXXV, 1912).

(2) La granulite normale contient parfois de petites enclaves riches en biotite.

(3) M. Ch. Barrois signale que « l'on y trouve beaucoup de tourmaline ». Je n'ai pas eu l'occasion d'en observer en dehors des accidents pegmatiques; elle doit sans doute être représentée dans les environs de Saint-Jean Brévelay que je n'ai pas parcourus.

constater qu'elle paraît à la main très comparable à celle de Maupas, mais, au microscope, certains caractères la rapproche du granite bleu de la profondeur : absence de quartz granulitique dans les feldspaths, plagioclases zonés (les zones n'ont entre elles que des différences d'extinction à peine sensibles, mais l'altération les met en relief) et parfois apparition de bourgeons d'albite à quartz vermiculé sur le pourtour des microclines. Cela prouve qu'il doit y avoir passage progressif au granite bleu, la périphérie du massif étant plus alcaline que le noyau.

3. Roches broyées.

Malgré l'uniformité pétrographique de la région, on peut y rencontrer quelques autres roches; les unes constituent des types spéciaux, les autres sont seulement des accidents locaux : pegmatites et aplites, par exemple.

a. GRANULITE DE LA GRÉE MAGNAN. — L'une des plus caractéristiques est celle qui constitue ces collines à forme conique si régulière que dominant les moulins de la Grée Magnan et de la Grée Maréchal (3^{km} S.-O. Guéhenno).

Cette roche n'est pas identique à elle-même dans tout le gisement. A la Grée Magnan, elle est âpre au toucher, gris clair et, sans être fragile, est loin d'avoir la solidité de la granulite normale fraîche. La structure finement grenue laisse reconnaître une certaine orientation des éléments; suivant une direction les cassures sont à peu près planes. Cela est dû à une grande quantité de petites paillettes de mica toutes parallèles entre elles, leur abondance et la régularité de leur disposition n'étant toutefois pas suffisante pour provoquer une véritable schistosité. La loupe permet aussi de reconnaître de petits cristaux de quartz et de feldspath et des paillettes de mica noir.

Cà et là, on rencontre une roche à grain un peu moins fin et dans laquelle les lits micacés sont beaucoup moins nets. On y retrouve les mêmes éléments, mais en plus quelques grands cristaux de mica comme ceux décrits page 83. De place en place de petites taches de forme irrégulière, dont le diamètre est de 2^{cm} à 3^{cm}, présentent des cristaux de tourmaline noire (1^{mm} environ), tandis que le mica blanc y fait presque complètement défaut. La muscovite manque non seulement dans la région riche en tourmaline, mais encore dans une zone de 1^{cm} environ autour d'elle, et comme c'est ce mica qui donne à l'ensemble de la roche une teinte jaunâtre, il s'ensuit que les grains de tourmaline sont au milieu de petits espaces beaucoup plus blancs que les parties voisines.

Sur la colline suivante (la Grée Maréchal), toute la lande est semée de blocs d'une granulite à grain encore un peu plus gros et de teinte légèrement jaunâtre. Le quartz y est moins régulièrement distribué que dans la précédente et le mica en petites paillettes a complètement disparu ; par contre, c'est en grand nombre que se sont individualisés les gros cristaux de mica blanc décrits ci-dessus (p. 83).

Ce sont là des roches broyées ; dans celle de la Grée Magnan les éléments sont fendillés en tous sens, le *quartz* est réduit en petits grains, et des deux feldspaths, c'est comme toujours l'*albite* qui a le plus souffert ⁽¹⁾. Les rares cristaux qui atteignent ou dépassent un demi-millimètre de longueur, sont brisés avec déplacement fréquent des fragments ; les autres sont entièrement craquelés ou réduits à de petits débris d'orientation quelconque. Les *feldspaths* sont tous très frais, ils contiennent en abondance

(1) Le broyage n'est toutefois pas accentué et il n'y a notamment pas lieu de lui attribuer l'orientation des éléments.

du quartz granulitique ; le *microcline* du début de la cristallisation est en plages irrégulières dans l'*albite*, et, comme il paraît ne s'en être produit que très peu à la fin de la solidification, les plagioclases n'ont pas toujours des formes nettes. La *muscovite* est abondante, en paillettes disposées en lits grossièrement parallèles entre eux ; la *biotite* est plus rare et ses cristaux sont distribués plus irrégulièrement ; l'*apatite* est peu fréquente en prismes fins et souvent brisés. Dans les enclaves à *tourmaline*, celle-ci est en grains toujours fendus et sans formes géométriques nettes : n_g : vert pâle, un peu brunâtre ; n_p : presque incolore.

La roche à grands cristaux de mica est très comparable, mais étant à plus grands éléments, le broyage est plus visible quoique peut-être moins accentué. Les feldspaths sont généralement frais, mais le *microcline* est souvent trouble ; parfois opaque en lumière naturelle. L'*albite* contient fréquemment des débris de microcline altérés ; il y a eu résorption magmatique comme cela été observé dans le type Maupas et dans le type profond. Enfin, on observe une corrosion partielle des feldspaths par le quartz, que cela se soit produit à la fin de la cristallisation ou postérieurement à l'écrasement. Les grands cristaux de mica sont souvent tordus et même brisés.

On remarque, comme dans le type précédent, des espaces où la roche, plus blanche, ne contient pas de mica, mais quelques grains de *tourmaline* noire ; ils sont fendus, les fissures étant parfois remplies par du quartz. On y remarque de petites auréoles polychroïques autour d'inclusions de *zircon*. Les teintes sont : cristal, n_g vert jaune pâle, n_p presque incolore ; auréoles polychroïques : n_g bleu vert, n_p presque incolore. L'*apatite* est peu abondante.

b. REMPLISSAGE DE LA FAILLE DE LA GRÉE MAGNAN. — Dans la

région où l'on rencontre ces roches écrasées, la poussée a provoqué la formation d'une véritable cassure dont j'ai déjà parlé page 51. Elle ne s'est pas ouverte et n'a pu être remplie par le quartz, sans doute par suite de sa situation en plein massif. Les deux épontes, enduites d'une substance sériciteuse douce au toucher (pouvant avoir jusqu'à 2^{mm} d'épaisseur), ne sont pas au contact l'une de l'autre; elles sont séparées par une lame rocheuse qui s'en détache facilement et dont l'épaisseur varie de 1^{mm} à 30^{mm}. Ainsi qu'on pouvait le supposer, celle-ci provient de débris des épontes fortement laminés; elle est plus compacte que les roches qui viennent d'être décrites, à grain plus fin, mais on y reconnaît encore les petites enclaves pauvres en muscovite et riches en tourmaline. En lame mince on observe que si la roche a été très fortement comprimée, les débris feldspathiques qui n'ont pas été réduits en poudre sont demeurés très frais, et qu'il n'y a pas eu un laminage très accentué, les divers éléments ayant à peu près conservé leur emplacement primitif. Le *quartz* est réduit en grains irréguliers à orientations variées, les plus gros sont souvent fendus; mais il y a eu rupture et non simple déformation, aucun d'entre eux ne présentant d'extinction onduleuse ou en mosaïque. Le *microcline* a subsisté en débris relativement volumineux (0^{mm},5), toujours irrégulièrement fissurés, présentant les traces d'une légère altération. La plupart de ses cristaux se sont divisés sous l'influence de la pression en petits flots séparés entre eux par de fines veinules micacées qui ne suivent pas les clivages, et forment un réseau dont les mailles sont toutes allongées dans la même direction. Fréquemment, toutes les petites paillettes de *muscovite* (*séricite*) qui remplissent ces veinules étant à peu près parallèles entre elles, s'éteignent à la fois, et il en est de même de la séricite qui remplace les grains complètement

écrasés. Cette disposition du mica secondaire en réseau et cette extinction générale; jointes à la fraîcheur des grains qui ont pu résister, donnent à l'ensemble un aspect tout particulier.

L'*albite* a subi le même sort, mais il n'en reste à cause de sa plus grande fragilité, que des débris peu nombreux et de très petite taille, d'ailleurs parfaitement limpides. Les veinules sériciteuses qui les séparent, comparables à celles qui serpentent entre les grains de quartz, de microcline ou d'*albite*, sont remplies de lamelles de séricite de toutes orientations et ne s'éteignent jamais complètement. Il en résulte, lorsqu'on met à l'extinction les grains inclus qui n'ont souvent été que légèrement déplacés les uns par rapport aux autres, l'aspect d'un réseau vivement éclairé sur un fond noir.

Le *mica* primaire a été déchiqueté; les paillettes qui subsistent sont disposées en lits grossièrement parallèles entre eux et perpendiculaires aux épontes; quelques débris d'*apatite* sont encore visibles.

c. GRANULITE ENDOMORPHISÉE. — La roche indiquée sur la Carte géologique comme granulite endomorphisée est fortement broyée ⁽¹⁾. Elle est extrêmement solide, dure et compacte. Ses éléments (les mêmes que ceux de la granulite normale) ⁽²⁾, souvent brisés et déplacés, sont en effet soudés entre eux par des traînées de quartz en petits grains de toutes

(¹) M. Ch. Barrois a donné une description de cette granulite broyée (*Ann. Soc. Géol. du Nord*, t. XV); il considère, par comparaison avec ce qu'il a observé dans le massif de Grandchamp, que l'alignement des feldspaths qui subsistent en formant des nodules, est antérieur à l'écrasement, et que la roche du sud du massif était originellement porphyroïde.

(²) La structure de la roche primitive était plus ou moins granulitique selon les points. A Govello le quartz automorphe est fréquent dans les feldspaths; au Moulin de la Grée (0^{km},7 S.-O. de Plumelec) il est rare.

orientations, et de mica; la structure écrasée est parfaitement nette sans qu'il en résulte une division plus facile suivant une direction déterminée.

d. GRANULITE SCHISTEUSE. — Au nord du massif, très près du contact avec les schistes, un peu au sud de Coët Bugat (sud de Pourmabon), on rencontre une roche franchement schisteuse, fragile malgré sa fraîcheur, mais dans laquelle, si les éléments sont très nettement orientés, le broyage a été faible. Le *quartz* est en grains, soit assez gros (comme dans la granulite normale), soit très fins, ces derniers formant des zones de broyage. Les extinctions des grains, même relativement volumineux, sont presque nettes.

Le *plagioclase*, voisin de l'*albite*, est surtout abondant dans les parties écrasées; les grains un peu volumineux sont rares. Ce feldspath, très peu altéré, est par contre toujours fendillé. Le *microcline*, mieux représenté, se rencontre dans les parties écrasées, mais plus souvent en grains assez volumineux; il est très légèrement altéré et ses clivages *p* sont orientés parallèlement à la schistosité. Les *micas* blancs et noirs sont abondants, en beaux cristaux allongés dans le sens de la division facile de la roche; ils sont souvent assemblés entre eux avec orientation commune. La biotite est très fraîche et présente de très belles auréoles polychroïques. L'*apatite* est assez abondante. Ce type de granulite ne se rencontre au nord du massif que d'une façon accidentelle; dans les rares occasions où j'ai pu l'observer, la roche était toujours fraîche, mais très schisteuse.

Comme nous avons eu l'occasion d'étudier divers types de roches écrasées, mais que toutes dérivent d'une roche primitive très comparable, il est intéressant de remarquer que les différences dans les résultats du broyage peuvent s'expliquer par la façon dont celui-ci s'est effectué. On a :

1. Type normal très légèrement broyé (Maupas), d'où simple déformation du quartz (extinctions onduleuses et en mosaïque); les débris tombés dans les filons n'ont été vraiment écrasés que lorsque celui-ci ne s'est pas ouvert; exemple : coincement d'une veine à Maupas (*voir* p. 128).

2. Type modifié broyé (Villeder) (p. 137); rien qu'au voisinage immédiat des filons, le quartz est déformé et parfois brisé; les feldspaths, surtout l'albite, sont plus ou moins divisés en fragments, la muscovite forme des couches.

3. Type à grain fin, légèrement broyé (la Grée Magnan) ⁽¹⁾. Le quartz est toujours brisé, les grains qui en résultent ont des extinctions nettes; les feldspaths (surtout l'albite) et la tourmaline, lorsqu'il y en a, sont fissurés; les paillettes de muscovite se disposent en lits parallèles. Le remplissage de la faille est similaire, mais le phénomène est plus accentué; le déplacement des éléments, les uns par rapport aux autres, est nul ou très faible.

4. Type normal, fortement broyé ⁽¹⁾ (Govello, Moulin de la Grée, etc.). Quartz absolument écrasé, formant des bandes entre les éléments, extinctions nettes pour les grains. Les feldspaths (surtout le microcline) ont bien résisté; ils sont seulement un peu fendus. Les micas sont courbes.

5. Type schisteux (Coët Bugat).

La poussée était dirigée nord quelques degrés ouest. Au bord est du massif, la roche, mal soutenue par les schistes, s'est facilement brisée. La masse granitique tout entière a subi un effort considérable, mais, sauf au voisinage immédiat des fractures où il y aura pu y avoir frottement des deux surfaces, la résistance ayant été faible, les traces conservées ont été peu importantes. Dans le centre du

⁽¹⁾ La roche primitive était là, de toute évidence, très spéciale.

⁽²⁾ *Voir* remarque, p. 106.

massif l'effort était sensiblement le même, mais la fracture a eu plus de peine à se produire, d'où il a résulté une très forte pression et un écrasement de tous les éléments, sans qu'ils aient pu se déplacer beaucoup les uns par rapport aux autres. Au Sud et en bordure, la granulite était encore trop soutenue au Nord-Ouest pour pouvoir donner naissance à des fractures, mais, par suite d'une part de l'obliquité de la direction de la poussée, d'autre part, et surtout du fait qu'en bordure la masse granitique subissait le choc de la vague schisteuse, elle s'est broyée contre la partie centrale faisant l'office de butoir. Le quartz, toujours fragile, a été réduit en poudre, alors que les feldspaths ont pu se déformer légèrement en échappant ainsi à un écrasement aussi complet. Il y a eu broyage et orientation des éléments, mais sans qu'il ait pu en résulter une schistosité véritable, car s'il y avait compression énergique tout mouvement de déplacement et d'écoulement était à peu près impossible. Au Nord, au contraire, il n'y a eu broyage que pour des bordures mal soutenues, des parties superficielles ou des apophyses qui se sont laissées entraîner par le mouvement des schistes voisins. Le broyage est rare, plus faible qu'au Sud, mais la roche a pu acquérir la structure schisteuse.

4. Formations pegmatiques.

α. PEGMATITES. — Les veines de pegmatite ⁽¹⁾ sont fréquentes dans le massif, mais ce ne sont que des accidents; elles ne peuvent très généralement être suivies que sur un très court espace, et leurs directions, des plus variables, ne

⁽¹⁾ Pegmatite étant pris dans le sens de roche de la famille du granite à grands éléments.

permettent pas de les considérer comme un remplissage de fissures produites par une poussée déterminée ⁽¹⁾.

Les plus importantes de celles que j'ai eu l'occasion de rencontrer se trouvaient à Maupas, à Sérent, au M^{lin} de la Cr^x Martin (cote 156), à Le Roc (1^{km}, 5 N.-E. Guéhenno), à la carrière du Moulin du Hurcul, etc. Il convient d'y ajouter la pegmatite que l'on voit aux épontes des filons quartzeux des environs de Pourmabon (p. 39).

Toutes ces veines de pegmatite ont des caractères communs ⁽²⁾, mais paraissent à première vue différer beaucoup sous d'autres rapports. Les unes contiennent de grands cristaux de muscovite, d'autres quelques prismes de tourmaline; et, tandis que l'on constate souvent un enrichissement de mica noir aux épontes, celui-ci y fait parfois complètement défaut.

Pour ce qui est de la présence, soit de la muscovite, soit de la tourmaline (primaire, toujours moulée par le quartz et les feldspaths), il n'y a qu'à constater ⁽³⁾ l'exclusion réciproque, ou plutôt le remplacement de ces deux minéraux l'un par l'autre dans des roches presque identiques. Sur le second point, il est facile de remarquer que si la roche des épontes est riche en mica noir, elle est fraîche et non modifiée; si, au contraire, elle ne contient que de la muscovite, elle est modifiée et presque toujours écrasée.

Prenons, par exemple, un premier type à Maupas; il répond au cas le plus fréquent. L'axe est formé de pegmatite; on reconnaît la *muscovite* en cristaux atteignant 2^{cm}, les *feldspaths*, très abondants, blancs, à clivages faciles et vitreux, et le *quartz*, légèrement enfumé, assez rare. La

(¹) Elles sont antérieures aux filons qui les recoupent.

(²) Voir page 36, les caractères généraux des filons de pegmatites.

(³) Nous ferons plusieurs fois la même remarque. Voir page 139, comparer avec les enclaves de la roche de la Grée Magnan.

veine est encaissée dans une roche à grain plus fin que celui de la granulite voisine, et qui s'en distingue par la très grande abondance de la *biotite*; elle passe progressivement, mais rapidement, à la granulite normale. Ces bandes riches en mica noir ont environ 3^{cm} d'épaisseur. L'examen microscopique permet de constater que leur structure est très franchement granulitique (quartz bipyramidé fréquent dans le microcline), et par endroits finement grenue. Tous les feldspaths, surtout les plagioclases, sont un peu altérés. La *biotite* est beaucoup plus abondante que la *muscovite*; quelques-uns de ses cristaux sont verdis et contiennent *rutile* (*sagénite*) et *anatase*.

On a donc affaire à une simple concentration des éléments ferro-magnésiens aux abords de la fissure où cristallisait la pegmatite, avec structure granulitique très accentuée.

L'examen de la pegmatite elle-même est plus intéressant. Tandis qu'en dehors des régions filoniennes le feldspath qui entre dans sa composition est gris et se reconnaît pour du *microcline*, il est, à Maupas, blanc laiteux translucide; et si on examine de près à la loupe un de ses clivages, on reconnaît quelques rares et irrégulières taches grises ou roses. Dans une préparation mince on voit que ces taches sont formées de *microcline* trouble et généralement très altéré, la partie blanche est de l'*albite* fraîche et transparente qui s'est produite aux dépens du *microcline* primitif en le dirigeant peu à peu; les deux feldspaths ont même orientation (faces *g*¹ parallèles).

Le feldspath de la pegmatite primitive était le *microcline*, et durant sa formation la *biotite* se concentrait sur les parois; plus tard, lors des venues sodiques, celles-ci ont pu circuler plus facilement dans la pegmatite que dans la granulite, et il y a eu albitisation du *microcline*. Cette transformation du feldspath potassique est naturellement d'autant

plus marquée qu'il existe dans le voisinage, des fissures qui ont amené ces fluides riches en soude.

Un autre type se rencontre à la carrière du Moulin de Hurcul (près Guéhenno). L'axe est formé d'une pegmatite également pauvre en *quartz*, mais où la *muscovite* n'existe pas; elle est remplacée par la *tourmaline*. La roche aux épontes est à grain fin, riche en *muscovite*, et la *biotite* y fait absolument défaut. On est immédiatement frappé de ce qu'elle ressemble beaucoup aux granulites modifiées et écrasées que l'on rencontre en profondeur au voisinage des filons à la mine (p. 137), et, comme ces dernières, elle se brise suivant des plans enduits d'une légère couche de petites paillettes de mica. L'examen microscopique prouve qu'en effet, on a affaire à une granulite écrasée dans laquelle le plagioclase (*albite*) est plus frais que le *microcline*; elle contient en outre de petits prismes de *tourmaline* (primaire) fendillés en tous sens. Je pense que lors des poussées qui ouvraient les fissures et permettaient aux venues alcalines de modifier leurs parois, la veine de pegmatite s'est légèrement disloquée et ses épontes ont pu être profondément modifiées, puis écrasées, à l'époque des mouvements plus importants qui, ailleurs, ouvraient les filons et en broyaient les roches encaissantes. Les faits suivants contribuent à appuyer cette hypothèse :

1° Les éléments de la pegmatite présentent des cassures avec déplacement relatif des fragments; certains (*albite*) sont broyés;

2° Le *microcline* qui en était le feldspath primitif a été partiellement remplacé par l'*albite* qui, fragile, a été brisée, alors que le *microcline* localement très altéré (taches roses tranchant sur la teinte normalement grise de ce feldspath) a beaucoup mieux résisté à la pression;

3° Dans la même carrière, il existe des filons de pegmatite avec concentration de mica noir aux épontes, entièrement comparables à ceux de Maupas. Il semble, bien que cette observation ne soit pas faite sur un nombre suffisant de veines de pegmatite, que celles dont la direction est voisine de la direction des filons (Nord, quelques degrés Ouest) soient celles dont les épontes soient écrasées et sans biotite.

A Le Roc, on trouve une pegmatite très riche en *tourmaline*, en cristaux atteignant 4^{mm} de diamètre, plus riche en *quartz* que les précédentes et sans *muscovite*. La *tourmaline* est le premier élément cristallisé, le microcline est très altéré, l'albite limpide contenant souvent des débris de microcline opaque ; tous les éléments ont conservé la trace des efforts subis dans la suite.

Parmi les déblais tirés du puits n° 1, on rencontre des échantillons d'une roche blanche qui paraît uniquement formée de cristaux de feldspath (de 1^{mm} à 3^{mm}) orientés en tous sens. On doit la considérer comme une modification locale de la granulite, et il est probable qu'elle forme des veines analogues à celles de pegmatite. Suivant les échantillons, suivant même les préparations taillées dans un même débris, on a : soit microcline seul, soit microcline et albite, soit albite avec quelques restes de microcline. L'albite est toujours limpide, le microcline toujours altéré et souvent presque opaque en lumière naturelle. Ces préparations montrent très bien la formation de l'albite aux dépens du microcline, qui est souvent réduit à une bande déchiquetée, ou à des débris irréguliers séparés les uns des autres, mais de même orientation et appartenant évidemment au même cristal initial.

Ces préparations sont surtout intéressantes lorsqu'elles sont taillées dans un échantillon qui a été broyé. A la vérité

tous manifestent qu'ils ont subi des efforts postérieurement à la cristallisation de l'albite, mais il en est qui présentent des veinules de quartz et où ces phénomènes sont plus nets. Le quartz y est manifestement postérieur aux autres éléments ; c'est du quartz filonien, qui a rempli les fissures produites, aussi n'est-il pas broyé. Quant aux feldspaths ils se sont très différemment comportés ; le microcline est parfois fendu et ses fentes ne sont pas ouvertes ou sont remplies d'un mélange de quartz et d'albite en petits grains, le plus souvent il est seulement déformé et ses extinctions sont devenues irrégulières ou roulantes ; l'albite au contraire est fréquemment brisée, les fragments étant légèrement déplacés les uns par rapport aux autres. Le microcline, beaucoup plus résistant à la fracture (peut-être parce que plus altéré), a servi de butoir contre lequel l'albite est venue s'écraser ; ses débris ont recristallisé, de telle sorte que les restes déchiquetés de feldspath potassique sont entourés de petits grains d'albite de toutes orientations, tandis qu'au delà, les cristaux dont les macles rendent les cassures bien visibles, sont de plus grande taille. On peut d'ailleurs constater que cette fragilité plus grande de l'albite n'est pas une exception ; elle n'est ici que plus nette, mais le même phénomène s'observe dans toutes les granulites écrasées que j'ai étudiées.

Je terminerai cette étude des pegmatites par les constatations suivantes :

Elles sont des formations pneumatolitiques ou de sécrétion, formées dans des fissures irrégulières peut-être dues au retrait, très peu après la consolidation de la granulite normale, et avant la formation des filons métallifères.

Le microcline en était l'élément dominant ; la muscovite et la tourmaline semblent se remplacer ; il y a généralement concentration de mica noir aux épontes ; la transformation du microcline en albite y est très nette et souvent très accentuée.

Lors de la formation des fractures filoniennes les veines de pegmatite, points faibles de la masse, ont subi les effets de l'effort. Cet écrasement est généralement postérieur à l'albitisation que les microclines de la pegmatite ont pu avoir à subir, et l'albite toujours plus fraîche est plus fréquemment brisée que le microcline, qui paraît plus plastique.

b. APLITES. — Outre les pegmatites, on rencontre aussi des filons de roche à grain fin, très pauvre en éléments ferromagnésiens. Je n'ai pas eu l'occasion d'étudier leurs rapports avec les veines de pegmatites, je puis seulement affirmer que, comme elles, ces aplites sont antérieures aux grands efforts subis par le massif. A la carrière du Moulin de Hurcul, par exemple, la roche qui encaisse un filonnet d'aplite (5^{cm} de puissance) a sa muscovite orientée, et manifeste un broyage accentué; l'écrasement est beaucoup moins net pour l'aplite, dont les éléments de faible dimension ont pu se comprimer sans se briser, et dont les très petites et rares paillettes de muscovite sont peu visibles; on peut pourtant s'assurer que toutes brillent au même moment.

L'aplite de Trégranteur a été fissurée et se trouve traversée de veinules de quartz. Mais la plus écrasée est celle rencontrée entre Pourmabon et Coët Bugat, son grain est très fin, elle est absolument schisteuse et se délite à l'ongle malgré la grande fraîcheur des minéraux qui la composent. La granulite voisine également, très peu altérée, est schisteuse.

Ces aplites sont généralement très fraîches et finement grenues. Le *quartz*, le *microcline* et l'*albite* en sont les éléments dominants, et leur transparence est parfois telle, qu'il faut employer la lumière convergente pour les distinguer. La *biotite* et l'*apatite* font défaut, la *muscovite* parfois abondante (Trégranteur) est le plus souvent rare, mais alors on reconnaît quelques petits cristaux de *tourmaline*; enfin, dans

certains cas, au Moulin du Hurcul par exemple, l'aplite contient de petits cristaux de *grenat* rose.

5. L'altération atmosphérique.

A la surface du sol les échantillons sont toujours un peu altérés ; ce n'est que grâce à des excavations plus ou moins profondes, que l'on arrive à la roche à peu près intacte.

MARCHE NORMALE DE L'ALTÉRATION. — On peut dans la carrière de Sainte-Catherine étudier la marche de l'altération produite par les eaux météoriques. Le premier effet de l'altération ne se fait, à une certaine profondeur, sentir que le long des fissures, joints et plans de séparation qui divisent la masse. La roche, originellement blanche, mouchetée de noir (biotite), jaunit légèrement : ce sont les feldspaths, certains d'entre eux tout au moins, qui perdent leur éclat vitreux, tandis que la biotite met en liberté du fer. Plus tard, l'altération s'étend à l'intérieur des bancs, mais la très légère teinte jaune que l'on observe ne tient qu'à l'état d'altération des feldspaths ; en dehors du voisinage immédiat des fissures, même lorsque la biotite est très chloritisée, il n'y a pas trace de rubéfaction. Plus tard encore, la roche perd sa solidité et se divise en plaquettes parallèlement à la surface. Cette disposition n'est d'abord mise en évidence que lorsque l'on essaye de briser, soit au marteau, soit à la main, un bloc fortement altéré ; mais bientôt les plaquettes deviennent visibles en place. Il n'y a pas alors augmentation de la teinte jaune, au contraire, il semble qu'il y ait plutôt un lavage effectué par la circulation des eaux ; les micas ferromagnésiens sont plus ou moins transformés en chlorite, mais en aucun cas il n'y a formation d'oxyde fer. Enfin, au voisinage de la surface et le long des fissures les plus importantes, on

ne trouve plus qu'une roche sableuse ; lorsque les circonstances ont été favorables, cette décomposition complète s'étend à une certaine profondeur, mais la rubéfaction par oxydation des sels de fer mis en liberté est rare et généralement localisée ; le plus souvent ils ont été entraînés et la roche n'est pas colorée.

Cette propagation plus facile de l'altération le long des fissures préexistantes arrive parfois à provoquer la formation de couches tout à fait sableuses sous des parties à peu près intactes ; l'eau est descendue par une fente verticale, puis s'est infiltrée entre deux bancs, si bien que ceux-ci montrent, en partant de leur contact mutuel, tous les passages entre la granulite parfaitement friable et celle que l'on ne parvient qu'avec peine à briser au marteau. Le front de taille d'une petite carrière située à la Ville Richard, au nord-est de Lizio, permet de bien observer cette disposition.

Au microscope on s'aperçoit que le début de l'altération se fait sentir sur les plagioclases qui, sans devenir notablement grisâtres en lumière naturelle, se montrent, entre nicols croisés, entièrement mouchetés de paillettes de séricite. Pour un même plagioclase, et quelle que soit d'ailleurs l'intensité de l'altération au moment de l'observation, il semble que ces lamelles de mica secondaire soient de grande taille et se soient formées dans les clivages (ce que l'on reconnaît quelquefois par suite de leur orientation, alors même que le minéral primitif a totalement disparu), lorsque l'altération a été rapide et dès le début, intense ; elles sont au contraire de petite taille, confusément orientées, et ont pris naissance au sein de la substance même du plagioclase, lorsque celui-ci s'est décomposé lentement.

Tandis que les plagioclases sont ainsi rapidement atteints par la décomposition, les feldspaths potassiques résistent beaucoup mieux, et c'est à peine s'ils commencent à s'altérer.

Une préparation dont l'albite est déjà fortement chargée de séricite, présente des cristaux de microcline presque intacts. Toutes les plaques que j'ai étudiées m'ont permis de vérifier la parfaite exactitude des faits signalés par M. J. de Lapparent, notamment que la séricite, minéral potassique, se forme dans les feldspaths sodiques et calco-sodiques, tandis que les feldspaths potassiques n'en contiennent jamais⁽¹⁾. Les microclines en effet donnent naissance à un produit trouble, marron en lumière naturelle, opaque si la décomposition est poussée assez loin, et non biréfringent.

Lorsque l'altération augmente, dans le cas par exemple où la roche est devenue assez fragile pour se briser à la main, le microcline n'est encore que légèrement et irrégulièrement voilé du produit marron, alors que le plagioclase est complètement transformé. L'examen à la loupe permet d'ailleurs fort bien de faire les mêmes observations : les cristaux de plagioclase sont devenus très fragiles ; lorsque l'on casse un fragment de roche, ils se brisent et apparaissent avec une teinte jaune très pâle, tandis que ceux de microcline se détachant, grâce à la fragilité des minéraux qui les entourent, ne sont pas brisés. C'est cette circonstance qui empêche souvent de remarquer leur fraîcheur, car si l'on vient à les écraser, on constate qu'ils sont restés très durs et possèdent encore des clivages parfaits et à éclat vitreux.

ALTÉRATION RAPIDE. — En étudiant systématiquement les divers granites altérés de la région, on peut constater que parfois la séricitisation ne se produit plus du tout de la même façon, les plagioclases sont fendillés et divisés en

⁽¹⁾ Ceci pour les roches dont nous nous occupons ici, car dans d'autres régions j'ai pu observer du mica secondaire dans des feldspaths potassiques (dans la granulite de Zinnwald par exemple), mais le cas ci-dessus est le plus fréquent.

flots irréguliers ; souvent de la séricite en très petites paillettes formant des amas confus remplit les vides qu'ils laissent entre eux ; mais ce qui est remarquable, c'est que les flots ainsi limités sont parfaitement limpides et intacts ; ils paraissent se dissoudre sans altération préalable. Il serait beaucoup trop long de décrire complètement ici plusieurs préparations de granulites altérées) je me contenterai donc de donner quelques indications générales.

Dans la granulite normale, nous venons de voir quelle est la marche de l'altération ; dans le granite bleu, même prélevé profondément, on reconnaît que la séricite commence à se développer dans certaines zones des feldspaths ; les portions de plagioclase à quartz vermiculé, toujours situées dans ou contre le microcline ainsi, que dans le cas où le plagioclase contient des débris de microcline, une auréole autour de ces débris, résistent parfaitement à l'altération. Des échantillons moins frais montrent que progressivement certaines zones se sont remplies de séricite, tandis que les autres commencent seulement à en contenir.

En allant prélever des fragments de roche au fond du puits n° 1 et à quelques mètres de tout filon, on a une granulite qui, par la proportion relative et les formes des cristaux de microcline et de plagioclase, ressemble au type normal, tandis que par ses bourgeons d'albite à quartz vermiculé, et ses feldspaths zonés, elle se rapproche du granite bleu auquel elle passe d'ailleurs en profondeur ; elle est très altérée, se délitant assez aisément sous l'action de la main, et cette altération aussi accentuée malgré la profondeur n'est pas due à l'action du filon ⁽¹⁾, mais à l'abondante circulation de l'eau, facilitée par la fissuration de la roche et le voisinage des schistes. Or, on constate que si certaines zones

(¹) Voir page 46 et analyse n° 4.

des feldspaths sont remplies de séricite, les autres sont brisées et formées de grains limpides qui diminuent seulement de taille si la décomposition est plus forte. Ce sont ces mêmes zones que nous avons constaté précédemment être susceptibles de donner, tardivement il est vrai, naissance à la séricite, et c'est à la circulation active des eaux qui entraîneraient rapidement au loin les sels potassiques mis en liberté sans leur laisser le temps d'agir sur les feldspaths les plus stables vis-à-vis d'eux que j'attribue cette différence ⁽¹⁾. Ainsi s'expliquent ces faits en apparence contradictoires que, tandis que certains feldspaths sont séricitisés dès le début de l'altération, d'autres sont limpides dans le cas d'une décomposition très légère ou très forte (si elle a été rapide), et troubles si celle-ci est moyennement accentuée ⁽²⁾.

La marche de l'altération ne semble pas avoir d'influence sur le microcline, toujours légèrement et irrégulièrement imprégné du produit marron amorphe dont il a été question précédemment.

EFFETS DE L'ALTÉRATION SUR LA BIOTITE. — Un autre minéral qui subit les atteintes des eaux atmosphériques, est la *biotite*. Elle semble d'ailleurs résister d'une façon très différente suivant que la roche a été soumise à une lente imbibition ou à une circulation d'eau active. La biotite d'une roche solide, à aspect presque frais, sera souvent

(¹) Il faut aussi remarquer que la richesse en sels potassiques de ces eaux sera moindre puisqu'elles ont traversé une moins grande épaisseur de roche et plus vite. Enfin, il y a sans doute lieu de tenir compte de la légère quantité de CO² que contiennent toujours les eaux météoriques. Libre, il contribuera à faciliter la dissolution des feldspaths, tandis que plus bas il se sera combiné aux alcalis mis en liberté.

(²) On a démontré aussi que dans la terre arable recouvrant un sous-sol granitique, on trouvait des débris feldspathiques parfaitement frais, tandis que la roche en profondeur présentait de la séricite.

verdie, sa biréfringence aura diminué; elle est en voie de se transformer en chlorite par élimination des sels de fer et individualisation du titane sous forme de fines aiguilles de *rutile* groupées en houppes ou maclées à 60°, et de petits cristaux d'*anatase*; si la circulation de l'eau a été facile, la roche sera devenue fragile sans que le mica noir ait été notablement altéré. C'est ce que l'on peut observer sur les échantillons prélevés au fond du puits n° 1 (à quelques mètres des filons); même dans la granulite entièrement sableuse de la grande tranchée, le centre des cristaux de biotite un peu volumineux est encore intact, la périphérie seule étant transformée en chlorite.

Sur les bords d'un chemin qui mène de *Le Grand Lezerman* au hameau dit *Le Val au Curé* un peu avant d'arriver à ce dernier village, là où il est en tranchée, on observe un fait en apparence inexplicable : la granulite décomposée est formée de bancs horizontaux superposés, d'environ 0,25 de puissance; les uns ont à peu près la coloration de la roche fraîche, les autres au contraire sont devenus couleur de rouille. Les échantillons qui proviennent des bancs rubéfiés sont beaucoup plus fragiles que les autres et se délitent aisément entre les doigts.

L'examen en plaque mince permet de constater que la roche était, à l'origine, quels que soient les bancs, identique : une granulite formant passage entre le type normal et le granite bleu, mais la décomposition n'est pas du tout la même dans les bancs blanchâtres et dans les bancs rubéfiés.

La roche non rubéfiée est solide tout en se laissant facilement briser au marteau; elle a une teinte claire d'un gris jaunâtre; la séricitisation des plagioclases, plus accentuée suivant certaines zones, est générale; la biotite est verdie avec développement de rutile et d'*anatase*; l'apatite

en beaux cristaux est assez abondante. La roche rubéfiée se désagrège facilement à la main et répand une odeur de terre humide. Les cristaux de plagioclase sont très altérés, mais tandis que les uns sont, là encore, gris noir en lumière naturelle et contiennent de la séricite, les autres sont fendillés, certaines portions voisines des fissures étant entièrement kaolinisées, alors que l'intérieur des grains ainsi formés est resté parfaitement limpide. La biotite, souvent associée à la muscovite, est abondante, riche en remarquables auréoles polychroïques et ne présente pas d'altération sensible. L'apatite a totalement disparu.

Si l'on compare ces deux roches, on voit que c'est la seconde qui est la plus altérée, mais c'est elle dont la biotite est intacte, tandis que l'oxyde de fer l'imprègne et la colore, faits en apparence contradictoires dont l'explication est la suivante :

Il y avait à l'origine une masse granitique divisée en blocs par des fissures naturelles, les unes verticales, les autres horizontales. L'eau atmosphérique descendait par les fentes verticales, et ne pouvant s'en échapper que par une lente imbibition, aurait provoqué l'altération dont la marche progressive se suit si bien à la carrière de Sainte-Catherine, si la situation n'était, au Val au Curé, toute spéciale. On est là sur une croupe, prolongement du plateau de la coté 155, et quelques mètres plus loin la déclivité augmente brusquement, une pente rapide faisant, en moins de 200^m, descendre de 50^m environ. L'eau parvenue dans les fissures horizontales (à la vérité plongeant légèrement vers le Nord) pouvait donc s'écouler au dehors à la façon de celle qui, imprégnant une couche sédimentaire, forme une source à flanc de coteau. Il y avait donc une circulation active, d'où renouvellement de l'oxygène et possibilité de rubéfaction, altération intense au toit et au mur de la fissure, d'où séricitisation de certains plagioclases et dissolution des autres ainsi que de l'apatite,

tandis que le mica noir ne restant pas au contact des solutions sodiques, continuellement entraînées, ne se décomposait que faiblement. A l'intérieur des bancs primitifs, au contraire, il y avait imbibition et non circulation intense; l'apatite ne se dissolvait donc pas, mais il y avait altération plus ou moins aisée de tous les plagioclases quels qu'ils soient, sans dissolution véritable, et attaque de la biotite, dont le fer entraîné se reprécipitait, sous forme d'oxyde insoluble, dans les parties où la circulation plus rapide permettait à l'oxygène de s'introduire. Ce fer colore donc la partie de la roche dont il ne provient pas, et contribue par sa présence à préserver de la décomposition les minéraux ferro-magnésiens de la région où il se dépose.

La rubéfaction d'une roche est donc un phénomène complètement indépendant de son état d'altération. La présence de l'oxygène ne paraît avoir aucune influence sur la marche de la décomposition, il n'agit que sur les sels de fer en solution, qu'il précipite à l'état d'oxyde insoluble. C'est ce qui permet d'expliquer comment des roches très fraîches sont rubéfiées sur une petite épaisseur au voisinage des fissures sans qu'il y ait aucune différence dans l'état des minéraux même ferro-magnésiens des portions différemment colorées, et comment il se peut, pour un même granite altéré, y avoir, selon les points considérés, soit augmentation, soit diminution du fer total. Cette observation pourrait peut-être aussi être invoquée pour expliquer l'enrichissement en fer de la partie superficielle d'un terrain éruptif soumis à une active décomposition, les divers éléments étant peu à peu entraînés par les eaux, tandis que les sels de fer oxydés et précipités, encroûtent les débris de la roche.

6. L'altération filonienne.

Si l'on porte son attention sur les débris rocheux inclus dans les filons, on est étonné de constater qu'ils sont tantôt très frais, tantôt profondément altérés; en comparant des échantillons, entre eux et avec la roche des épontes, on peut distinguer :

- 1° Filons bien ouverts avec roche modifiée aux épontes;
- 2° Filons bien ouverts avec roche non modifiée aux épontes;
- 3° Veinules quartzeuses serpentant dans la granulite et en entourant complètement des fragments sans qu'il y ait de véritable filon;
- 4° Débris de granulite inclus dans les rognons de quartz sphérolithique.

Dans le premier cas, les débris tombés dans le filon et emballés par le quartz ont subi les modifications qui seront étudiées plus loin.

Le deuxième cas se présente plus rarement, mais un bon exemple est un filon rencontré à la cote 155; encore n'a-t-on pas là une fracture bien nette, mais plutôt un lacis de veinules enchevêtrées et si nombreuses qu'elles finissent par donner une masse de quartz. La roche incluse a une teinte générale jaune clair. Le *quartz*, en grande partie de nouvelle formation, s'est introduit dans la roche lors du remplissage du filon; il forme parfois des prismes hexagonaux parfaits ou plus souvent des plages irrégulières qui, unies les unes aux autres, constituent un squelette grâce auquel la roche a une certaine solidité, malgré la décomposition avancée des autres éléments. Ce quartz présente les fines aiguilles souvent signalées et des inclusions liquides à libelles. Les cristaux de *microcline* sont blancs, ternes, se délitent à l'ongle et sont partiellement transformés en séricite. Le *plagioclase*

est entièrement épigénisé par la séricite en lamelles de relativement grande taille et groupées en rosettes. On observe aussi quelques beaux cristaux de *muscovite* et des grains d'*anatase* produits par décomposition de la biotite.

C'est donc une granulite quartzifiée et très altérée, la transformation subie étant comparable à celle qu'aurait produit une altération d'origine superficielle.

Dans le troisième cas, la transformation ressemble un peu à la précédente, mais les fractures s'étant moins ouvertes, la roche a subi un écrasement qui la rend en lame mince très comparable à la granulite endomorphisée (p. 106). De plus, le plagioclase est entièrement transformé en séricite, alors que le microcline (¹) est peu atteint; la biotite est très altérée et se transforme en muscovite orientée ou non sur elle avec production fréquente de rutile (sagenite); enfin il y a rubéfaction légère de l'échantillon, s'il est prélevé au voisinage de la surface. Au quartz broyé qui forme des bandes entre les divers éléments s'est ajouté quelques cristaux de nouvelle formation de section hexagonale régulière; ils remplissent des fissures de faible puissance.

Enfin la granulite incluse dans les rognons de quartz bacillaire que l'on rencontre le long de la fracture signalée page 26 est tout à fait comparable à celle incluse dans le filon de la cote 155. Toutefois la transformation est poussée plus loin, le squelette siliceux est encore mieux développé, le microcline a presque disparu comme le plagioclase, et la séricite a été partiellement entraînée, ce qui a donné naissance à quelques petites cavités irrégulières.

Il résulte de ces observations que, d'une façon normale, les phénomènes de broyage étant considérés à part, les eaux circulant dans un filon, ont pour effet de provoquer une alté-

(¹) Le Gletin, par exemple.

ration très comparable à celle qu'auraient produite les eaux météoriques ; la différence la plus importante consiste en la production de silice secondaire qui, formant une carcasse rigide, empêche l'affaissement de la masse décomposée. Ce n'est que dans les filons nettement ouverts et relativement réguliers et continus, présentant une modification plus ou moins accentuée de leurs épontes par alcalinisation accompagnée ou non de recristallisation, remplis par le quartz fétide minéralisé, que les morceaux de roche emballés dans le remplissage, de même d'ailleurs que les épontes elles-mêmes, n'ont subi aucune altération.

II. — MODIFICATIONS AU CONTACT DES FILONS.

Les roches du massif et leurs transformations par décomposition ou broyage étant ainsi bien définies, nous pouvons passer à l'examen des modifications présentées par la granulite aux épontes des filons métallifères.

Près des filons, la roche, lorsqu'elle n'a pas subi les effets de l'altération superficielle, est parfaitement fraîche ; elle est tellement résistante qu'il est difficile d'en détacher des éclats, mais il suffit d'examiner ceux-ci d'un peu près pour être immédiatement frappé de la coloration plus claire de ceux qui viennent du contact ou des environs immédiats du filon.

1. A la carrière de Maupas.

L'intensité de la modification est d'ailleurs très variable suivant les points, et dans un court espace. Je ne citerai que les observations que l'on peut faire aux épontes d'un des filons de Maupas, mais la roche qui encaisse les filons de quartz signalés sur d'autres points a toujours subi des transformations comparables à celles décrites ci-dessous ; l'import-

lance pourra seulement en être plus faible, en même temps que des phénomènes de broyage et une altération superficielle, parfois intense, pourront en rendre l'observation difficile.

C'est à peu près au milieu du faisceau filonien de Maupas, que l'on rencontre une veine quartzeuse dirigée N.5°O. plongeant de 55° à l'Ouest et d'une puissance de 0,50 environ. La carrière située à la base du plateau fait dans la masse granitique une profonde échancrure; elle présente des gradins successifs, et c'est sur les plus bas d'entre eux que l'on voit affleurer ce filon. Vers le Nord il s'enfonce dans la granulite (front de taille latéral de la carrière), la petite galerie qui s'ouvre un peu plus loin le recoupant sans doute, tandis qu'au Sud sa trace se perd dans les broussailles.

A ses épontes, comme à celles de tous ses voisins, la granulite perd son mica noir et s'enrichit légèrement en mica blanc (types *a* et *b*) mais au Nord la modification est beaucoup plus accentuée : sur environ 2^m, et de part et d'autre du filon, il s'est formé une roche spéciale (type *c*) qui ne constitue plus seulement une couche de quelques centimètres, mais s'étend au mur jusqu'à environ 1^m et au toit jusqu'à 0^m,50 du filon. Tout autour de cette poche profondément transformée on retrouve la granulite (type *b*) qui passe progressivement à la roche intacte. Nous verrons plus loin en le décrivant que l'une des principales caractéristiques du type *c* est l'absence totale du quartz; celui-ci apparaît pourtant au voisinage du filon et devient même très abondant au contact. De même, les blocs engagés dans le filon sont riches en quartz, mais les autres caractères les rattachent indiscutablement au type *c*.

A cet endroit le filon englobe des lentilles de granulite et contient du mispickel en assez grande abondance; un peu plus au Sud il est moins puissant mais très régulier et ren-

ferme quelques cristaux de cassitérite; on reconnaît le type *b* au mur comme au toit, mais la modification ne s'étend que jusqu'à une dizaine de centimètres du filon tout au plus. Quelques mètres plus loin le filon s'amincit et a une tendance à s'éparpiller, une petite branche se détache et se coince; la partie principale se serre jusqu'à disparaître presque complètement, le remplissage n'est plus formé que par une substance à toucher onctueux, dure et verdâtre formant de petites lentilles très aplaties, disposées parallèlement aux épontes. Une coupe montre que ces lentilles verdâtres ont une composition complexe; elles sont essentiellement formées de débris de quartz broyé, cimentés par de la sérécite et un peu d'oxyde de fer; les zones d'écrasement recoupées les unes par les autres, de petites veinules riches en oxyde de fer rejetées par d'autres fissures, indiquent qu'il y a eu plusieurs efforts successifs.

Ce remplissage est le résultat du broyage par friction de la roche des parois de la fracture; aux épontes la granulite est fraîche, modifiée et quartzifiée. Un peu plus loin (vers le Sud) le quartz réapparaît, mais il n'est pas compact, ce sont des lames irrégulières parallèles aux épontes, entre lesquelles se retrouvent les produits de broyage ci-dessus signalés.

Plus loin encore le filon a repris toute sa puissance; le quartz qui contient quelques rares et fines aiguilles de tourmaline est compact; les épontes présentent la modification habituelle, mais peu accentuée. Plus au Sud, le filon se coince de nouveau et la brèche de friction verte réapparaît, mais il reprend aussitôt sa puissance normale; la roche des épontes est alors profondément modifiée (presque autant qu'au nord de la carrière), mais elle est toujours quartzeuse et présente des veinules de pyrite (type *e*).

On voit donc que la modification de la roche aux épontes

varie rapidement d'intensité d'un point à un autre, mais est absolument constante. Je décrirai :

Type *a* Modification normale faible.

» <i>b</i>	»	normale assez forte.
» <i>c</i> ¹	»	très forte sans quartz.
» <i>c</i> ²	»	» avec quartz.
» <i>d</i>	»	» sans quartz, structure miarolitique.
» <i>e</i>	»	» avec quartz et veinules de pyrite.

MODIFICATION NORMALE, TYPE *a*. — La roche modifiée type *a* a conservé le grain et la structure de la roche intacte; l'aspect est celui d'une granulite absolument fraîche et la dureté est considérable.

Le *quartz* est comparable à celui de la roche intacte.

Les cristaux de *microcline* sont abondants, volumineux et moulent les autres éléments; ils contiennent du quartz granulitique absolument comme dans la roche intacte, mais ils sont troubles, souvent rendus opaques en lumière naturelle par un produit de décomposition amorphe et de couleur brune. Les individus en grande partie résorbés, que l'on trouve parfois à l'intérieur de l'albite, ont été également atteints par cette altération, et le phénomène est si net (l'albite comme on le verra plus loin étant au contraire demeurée presque parfaitement limpide) que l'on peut sans crainte de se tromper déterminer la nature des feldspaths en lumière naturelle.

Les cristaux de *plagioclase* (*albite*) paraissent en lumière naturelle légèrement mouchetés de noir (¹), mais la lumière polarisée ne permet pas d'y reconnaître la sérécité; ils semblent alors limpides et parfaitement frais, ce qui est très frappant lorsque l'on compare avec ceux beaucoup plus

(¹) Nombreuses inclusions liquides ou gazeuses.

altérés et séricitisés de la roche non modifiée, prise quelques centimètres plus loin dans le même banc. Leur quantité n'est pas beaucoup plus grande que dans cette dernière; toutefois il en est qui, séparant par exemple en deux parties un microcline primitivement d'une seule pièce, paraissent être de nouvelle formation; on passe alors au type *b*.

La *muscovite*, entièrement comparable à celle de la roche non modifiée, est plus abondante et présente souvent de belles macles suivant *m*.

L'*apatite* s'est développée en abondance dans la roche, elle existait déjà loin du filon, mais ses cristaux sont devenus plus nombreux (gros prismes atteignant quelquefois 0^{mm},4 de diamètre sur 1^{mm} à 2^{mm} de longueur).

MODIFICATION NORMALE, TYPE *b*. — Les échantillons prélevés contre le filon au contact duquel ils présentent une couche de mica ou plus simplement une surface lisse sont durs, leur aspect est frais, la structure grenue, les éléments de même taille que ceux de la roche intacte, mais la coloration est beaucoup plus claire, presque blanche.

Le *quartz* tout à fait comparable, tant par sa quantité que par ses propriétés, à celui de la roche intacte, s'éteint en mosaïque, il moule tous les autres éléments et contient de petits cristaux bipyramidés de *zircon*.

Les cristaux de *microcline* sont très altérés, comme dans le type *a*; ils ont même partiellement disparu et, si on les voit encore en assez grande quantité, c'est en morceaux irréguliers et déchiquetés.

Le feldspath plagioclase a remplacé le microcline, ses cristaux sont nets et limpides (alors qu'ils sont dans le même banc plus ou moins remplis de séricite si l'on s'éloigne du filon). Les macles et les sections orientées perpendiculairement aux bissectrices permettent de caractériser l'*albite*.

Il est, dans la plupart des cas, impossible de distinguer, dans ces roches modifiées, les cristaux d'albite primitifs de ceux de nouvelle formation; tous ont d'ailleurs peut-être recristallisé; ce qui est certain, c'est qu'il en est de contemporains de la transformation subie par la roche. C'est le cas, par exemple, pour ceux qui contiennent en abondance l'*apatite*, non en petits prismes fins comme on la rencontre généralement dans les granites, mais en cristaux qui atteignent fréquemment 0^{mm},15 de diamètre; c'est le cas également de ceux qui sont flanqués de débris de microcline qui ont conservé même orientation et appartiennent de toute évidence à un même cristal en partie détruit; certains de ces cristaux d'albite de nouvelle formation contiennent encore des fragments du microcline primitif, mais cela est assez rare; d'autres présentent sur les faces de la zone *ph*¹ une série de macles de l'albite toujours courtes et se terminant en biseau les unes dans les autres; d'autres enfin sectionnent seulement le microcline initial.

Ces cristaux d'*albite* sont généralement un peu plus volumineux que ceux de la granulite primitive; ils ont des formes nettes, sauf lorsque deux d'entre eux viennent à se rencontrer, et sont moulés par le quartz; les macles sont toujours nombreuses et très nettes; on peut noter celles de l'albite, de carlsbad, du péricline, et celle du roc tourné dont on rencontre de beaux exemples.

La *muscovite* est en grands cristaux, elle présente de très belles macles et assez souvent des auréoles polychroïques autour d'inclusions (¹) n_g : jaune brun très pâle, n_p : incolore.

Comme minéraux accessoires il faut noter l'*apatite*, extrêmement abondante et souvent curieusement distribuée dans

(¹) Elle-même est souvent très légèrement polychroïque en lames minces.

l'albite, elle contient de belles inclusions liquides; le *rutile*, que l'on trouve en grains ou en aiguilles dans certains micas blancs provenant sans doute de micas noirs disparus; et enfin la *pyrite* et surtout le *mispickel* qui, bien cristallisé, est moulé par le mica, l'albite et le quartz.

TYPE *c*¹. — La roche encore très fraîche est pourtant moins solide au choc que la précédente par suite de l'abondance du mica blanc dont la présence facilite le décollement des divers éléments. Elle est comparable au type *b*, mais la recristallisation a été plus intense d'où il a résulté : taille un peu plus considérable des éléments; augmentation de la muscovite (macles fréquentes et zones d'accroissement à biréfringences variées); destruction du microcline poussée plus loin (par endroits il disparaît complètement); disparition complète du quartz. Le *mispickel* s'y rencontre en abondance soit en cristaux isolés, soit en amas de petits cristaux enchevêtrés.

TYPE *c*². — Le type *c*² n'est qu'une variation locale du type *c*¹. Nous avons vu que celui-ci formait des poches de roche profondément modifiée et que la transformation s'étendait loin du filon. Lorsqu'on s'en rapproche, à 3^{cm} ou 4^{cm} environ, on voit le quartz réapparaître et devenir de plus en plus abondant jusqu'à former les deux tiers de la roche au contact. Il s'ensuit une diminution dans la proportion de l'albite et, ce qui frappe plus, du mica blanc.

Ce quartz moule tous les autres éléments auxquels il est nettement postérieur, de telle sorte que la structure de la roche n'est plus granulitique, mais vraiment granitique. A-t-il simplement cristallisé le dernier au moment de la formation de la roche, ou est-il nettement postérieur à la parfaite solidification de celle-ci et en constitue-t-il une nouvelle modification? Cela est une importante question, et l'on

doit admettre la seconde supposition comme vraie. Il n'y a en effet de quartz dans cette roche que là où elle est très voisine du filon; chaque fois que le quartz filonien adhère à la granulite des épontes, qu'elle ait encore ou n'ait plus de quartz primaire, elle est injectée de ce quartz secondaire que ses grandes plages et ses inclusions nombreuses et volumineuses permettent de distinguer. Non seulement le quartz moule tous les autres éléments, mais encore il les corrode et l'on peut, pas à pas, en suivre la disparition par dissolution. Ceci se voit surtout bien sur les cristaux d'albite; le quartz commence par former dans le feldspath un golfe qui va s'approfondissant peu à peu; bientôt tout l'intérieur du minéral attaqué est rempli par le quartz qui, généralement, en respecte la périphérie; enfin on ne reconnaît plus que quelques débris, ce sont les restes de la partie la plus externe du cristal d'albite qui, réunis par la pensée, permettent de reconstituer son contour primitif. Une même grande plage de quartz corrode d'ailleurs souvent plusieurs cristaux, le quartz inclus dans le feldspath ayant la même orientation que la plage dont il dépend; parfois aussi un même plagioclase est atteint en deux points différents, les quartz ainsi développés ayant chacun même orientation que la plage voisine.

Un exemple instructif est le suivant : une grande plage de quartz englobe des débris de microcline très altérés, plus loin quelques îlots d'albite, plus limpides mais à contours plus déchiquetés encore que ceux des premiers, se joignent à eux; tous deviennent peu à peu plus nombreux et l'on passe ainsi à une albite contenant des débris de microcline. Il est facile de se représenter l'histoire de ce point de la roche : un cristal primitif de microcline a été détruit, il s'est formé à ses dépens une albite qui s'est orientée parallèlement à lui et les débris de microcline très altérés sont devenus opaques, alors que l'albite était transparente. Plus

tard le quartz a attaqué l'albite qui, ainsi que cela s'observe partout dans la roche, a été dissoute sans altération préalable et beaucoup plus facilement que le microcline, de telle sorte qu'au milieu du quartz, on ne rencontre d'abord que quelques îlots de ce dernier feldspath, auxquels s'ajoutent peu après ceux d'albite avant d'arriver au cristal d'albite lui-même.

Les préparations taillées au voisinage immédiat du filon montrent que les phénomènes de dissolution y sont très accentués, mais quelle qu'en soit l'importance, le type c^2 est par ses autres caractères entièrement comparable au type c^1 .

TYPE d . — Il n'est qu'un accident du type c et constitue la modification la plus profonde qu'ait eu à subir la roche qui est à peine reconnaissable.

L'échantillon est de couleur jaune mastic, il est très frais, et pourtant se brise entre les doigts par suite du manque de cohésion des éléments. La muscovite et le feldspath sont seulement accolés les uns aux autres et présentent très souvent des individus à formes nettes dans les petites cavités qu'ils laissent entre eux; la structure est donc franchement miarolitique. Le mica est fortement coloré par une petite quantité d'oxyde de fer; les feldspaths sont blancs, leurs clivages nets et vitreux sont rarement visibles, car les cristaux se détachent en entier plutôt que de se laisser briser. Exceptionnellement on distingue un petit prisme d'apatite bleue.

Une préparation examinée au microscope ne permet pas de déceler le quartz qui manque d'une façon absolue. Les feldspaths sont là encore comme dans les types précédents de deux sortes, mais le *microcline*, toujours extrêmement altéré, a presque complètement disparu. On peut reconnaître parfois qu'au milieu de rares débris de microcline ont pris

naissance de petits cristaux d'albite finement maclés; tous ont mêmes extinctions, ils sont tous en effet orientés sur leur hôte de telle sorte que les faces g^1 aient même direction, ce qui se manifeste aisément sur les sections voisines de h^1 perpendiculaire à la bissectrice n_p du microcline; les clivages sont communs aux deux feldspaths. C'est un commencement de transformation lente du microcline; si elle s'était prolongée les petites albites auraient grossi, se seraient rejointes et auraient formé un de ces cristaux à macles courtes se terminant en biseau les unes dans les autres comme j'en ai signalé dans le type c .

L'*albite* est beaucoup plus abondante que le microcline, ses cristaux sont parfaitement limpides et contiennent des prismes d'*apatite* et de nombreuses paillettes de mica (primaire). Tous les éléments de cette roche (sauf le microcline, reste de la roche primitive) se sont formés à peu près en même temps, mais quoique entièrement de nouvelle formation, l'albite provient évidemment pour partie des cristaux anciens et pour partie de la transformation rapide sans relation d'orientation des microclines disparus.

La *muscovite* très abondante est en cristaux de taille variée; les uns atteignent 2^{mm} à 3^{mm} et sont formés d'un assemblage confus de lames maclées à 60° les unes des autres et accolées suivant p ; les autres très petits, 1^{mm} au plus, ont une forme hexagonale parfaitement nette; ils sont zonés et leurs zones externes par suite de leur mode d'accroissement ne s'éteignent pas d'un seul coup dans toutes leurs parties.

L'*apatite* se trouve en inclusion dans l'albite, mais elle est aussi très abondante en gros cristaux bleutés dont les sections sont soit hexagonales, soit rectangulaires. Ces dernières sont des sections parallèles à l'axe de prismes courts ($p\ m$ et une pyramide). Les inclusions sont fréquentes dans les cristaux d'*apatite*, les unes sont liquides à libelle, les autres ont l'aspect

de lamelles brunes très fines parallèles entre elles et à la direction de n_p . Elles sont probablement de nature ferrugineuse et donnent au minéral un léger pléochroïsme bleuâtre.

TYPE *e*. — Le type *e* est une roche modifiée, mais qui n'a pas aussi franchement recristallisé que les précédentes. Elle ressemble donc beaucoup au type *a* et les divers éléments qui s'y rencontrent y sont dans les mêmes proportions. Il y a lieu de remarquer que le *microcline* n'est pas devenu marron et opaque, en lames minces, mais noirâtre comme dans le type *b*. Le *rutile* et l'*anatase* inclus dans le mica blanc (ancienne biotite) sont fréquents. Le caractère vraiment spécial du type *e* est l'abondance de la *pyrite de fer*. Elle ne s'y trouve pas au même titre que le mispickel dans le type *c*, c'est-à-dire comme minéral le premier solidifié mais est de toute évidence postérieure à la parfaite cristallisation de la roche et garnit, avec le quartz, des fissures qui s'ouvrent sous le choc du marteau (voir Minéraux, p. 82).

2. A la mine.

J'ai déjà dit que des modifications très comparables s'observaient aux épontes de tous les filons, non seulement de Maupas, mais encore des autres régions du massif. Toutefois, elles ne sont pas toujours aussi nettes, non pas que le type *a* tout au moins ne se soit produit, mais par suite de la moindre altération du microcline et surtout d'une altération d'origine superficielle qui, superposant ses effets à ceux dont on recherche les traces, rend les phénomènes moins nets, en chargeant l'albite de produits de décomposition micacés.

Tel est le cas à la mine même. On ne peut y recueillir les échantillons en place puisque toute descente au-dessous du niveau atteint par l'altération superficielle est actuellement

impossible, mais on en trouve en grand nombre aux environs des puits; le quartz filonien adhère à certains d'entre eux, et d'autres montrent nettement le passage de la roche modifiée à la roche intacte. Tandis que cette dernière est tant à l'œil que d'après l'examen microscopique un intermédiaire entre le type Maupas et le type profond, celle qui se trouve au voisinage des filons est blanche et surchargée de muscovite. La modification subie la rend très comparable au type *b* ou même au type *c*, puisque le quartz est souvent rare, mais les éléments sont généralement plus petits et l'on distingue les traces d'un broyage par endroits intense. Les préparations sont moins intéressantes à étudier que celles de Maupas, car les fraîcheurs relatives des deux feldspaths sont moins en opposition. Le microcline qui est resté abondant et en grands cristaux est souvent noir et opaque, mais cette altération, très irrégulière, laisse voir des parties presque parfaitement limpides; l'albite commence à se troubler légèrement, mais c'est là une altération d'origine superficielle, ainsi que l'indique l'état de la roche non modifiée prise dans le même bloc.

L'abondance du mica blanc de nouvelle formation, l'aspect et la forme des cristaux d'albite, la production de l'apatite, la disparition du mica noir et la diminution du quartz sont des caractères communs à la Villelder et à Maupas. Le microcline a été seulement moins atteint, cela tient peut-être à ce que la venue alcaline a été plus potassique qu'à Maupas, ainsi que semblerait l'indiquer la proportion de la muscovite qui, tout en étant en moins beaux cristaux, est encore plus abondante que dans les types correspondants ci-dessus décrits.

Lorsque le quartz filonien adhère à l'éponte (¹) on observe

(¹) Le quartz filonien adhère très souvent à l'éponte lorsque celle-ci a été broyée, ce qui est fréquent à la mine. Voir page 149.

des phénomènes de corrosion des feldspaths, comparables à ceux déjà étudiés (type c²). A ce propos il est intéressant de signaler des échantillons à aspect plus compact que ceux qui sont les plus communs, et qui le doivent à une imprégnation quartzeuse généralisée; les phénomènes de dissolution des feldspaths sans altération préalable y sont des plus nets. C'est la seule roche dans laquelle j'ai pu trouver la *cassitérite*; on l'y rencontre en très petite quantité, sous forme de traînées formées de petits cristaux sans contour net, noyés dans le quartz intrusif d'origine filonienne, caractérisé par l'abondance et la disposition de ses inclusions liquides. L'oxyde d'étain appartient donc en réalité au filon quartzeux; il est postérieur à la recristallisation de la roche dont les feldspaths n'ont subi aucune des altérations souvent décrites (kaolinisation, formation de tourmaline, topaze, etc.).

3. Aux épontes des filons encaissés par les schistes.

Telles sont les modifications de la granulite au voisinage des fractures, mais celles-ci se prolongent hors de la roche éruptive dans les schistes avoisinants; le minéral qui semble alors s'être produit en abondance est la *tourmaline*. En signalant les différents filons j'ai fait remarquer que celui de Plinet, où la tourmaline se rencontrait en abondance, était encaissé dans le schiste. C'est près de la mine, sur l'affleurement que l'on rencontre au nord-est de la route du Roc Saint-André à Josselin, un peu avant d'arriver à la grande tranchée, que l'on peut, à l'heure actuelle, le mieux observer les rapports d'un filon avec ses épontes, à la limite même du granite et du schiste. Le schiste est, contre le filon, transformé en une véritable tourmalinite; et dans certains échantillons plissés les petites aiguilles du nouveau minéral sont couchées dans les plans de schistosité et alignées dans la même direction,

de telle sorte que les ondulations du schiste sont très reconnaissables; le remplissage est constitué par un mélange de quartz et de tourmaline.

Dans la granulite, près du schiste, la tourmaline s'est également développée, mais une assez forte altération (d'origine superficielle) rend l'étude peu instructive vis-à-vis des feldspaths voisins. Heureusement les déblais du puits Saint-Michel fournissent les échantillons désirés. Ce sont des fragments de granulite avec filon de quartz et tourmaline ou tourmaline seule, provenant, comme l'indique ce que j'ai pu voir dans les galeries du niveau 51, du voisinage immédiat, ou même du contact, avec le schiste (¹). Les échantillons extraits de la profondeur sont assez frais, ils passent d'un côté à la granulite normale, tandis que près du filon la *biotite* disparaît et que le *quartz* diminue beaucoup. La roche devient blanche, et la *muscovite* étant très rare, elle est presque uniquement feldspathique. Le microscope y montre encore souvent le *microcline*, mais altéré et peu abondant; l'*albite* au contraire en petits cristaux enchevêtrés est le minéral dominant, elle est fraîche et moulée par le quartz, soit que celui-ci ait cristallisé le dernier, soit même qu'il se soit introduit postérieurement. En s'approchant du filon on voit apparaître la *tourmaline* en grains entre les cristaux d'albite (contemporaine) ou en petits prismes inclus dans le quartz (postérieure à l'albite). Rapidement ses cristaux deviennent très nombreux et l'on passe à un remplissage purement tourmalinifère; quelquefois des bandes de la granulite modifiée, riche en albite, alternent avec les bandes noires de tourmaline; l'*apatite* est fréquente dans les parties riches en tourmaline, la *muscovite* n'apparaît qu'à une certaine distance (pouvant atteindre 2^{cm})

(¹) Le faisceau filonien étant parallèle à la direction de la bordure du massif granitique, de petits filons suivent le contact granite-schiste.

de ces mêmes régions. *Albite* et *tourmaline* se sont produites en même temps ⁽¹⁾; au voisinage du schiste et soit dans la granulite modifiée, soit dans les remplissages filoniens, la tourmaline paraît exclure la muscovite.

III. — ANALYSE CHIMIQUE DES PRINCIPAUX TYPES DE ROCHES.

Les analyses ci-dessous ⁽²⁾ montrent que la granulite de la Villeder (type Maupas nos 1 et 2) se fait remarquer par la forte proportion de titane comparée à la faible quantité de fer qu'elle contient; elle présente très peu de chaux, ce qui lui donne un caractère franchement alcalin. Le type profond ⁽³⁾ qui ne contient qu'un petit peu plus de fer possède deux fois plus de chaux; celle-ci entre dans la composition des feldspaths plagioclases sensiblement plus basiques que dans le type Maupas. La soude est par contre en légère diminution.

L'analyse 4 (voir p. 119) est celle d'une granulite altérée qui, à l'état frais, se serait beaucoup rapprochée du type profond; elle s'en distingue par l'oxydation du fer et la perte en soude, tandis qu'au contraire la potasse tendrait plutôt à augmenter; il y a aussi une très forte perte en chaux, tant par suite de la disparition de l'acide phosphorique (dissolution de l'apatite) que de l'altération des plagioclases.

Les analyses 5 et 6 se rapportent aux observations de la

⁽¹⁾ Ce rapport qui existe entre la tourmaline et le schiste n'est pas là un fait exceptionnel; c'est au contraire ce que l'on observe très souvent, par exemple pour les mines anglaises où les filons encaissés dans le killas sont souvent riches en tourmaline noire. Bien au contraire la tourmaline ne se formera dans les filons du granite que s'il y a un fort excès d'alumine par rapport aux alcalis disponibles.

⁽²⁾ Ces analyses ont été faites par moi-même en employant le procédé d'attaque par $\text{CO}^3\text{Na}^2 + \text{CO}^3\text{K}^2$ et en dosant les alcalis à part suivant la méthode de Laurent Smith.

page 121; 5 correspond à la roche la plus blanche, 6 à celle qui est rubéfiée. La seule différence importante est la plus grande richesse en fer de cette dernière.

Enfin, les analyses 7, 8, 9 se rapportent aux roches de la grande tranchée; l'abondance de l'eau, la légère diminution de silice et l'augmentation de l'alumine, l'oxydation du fer et la forte diminution des alcalis concordent parfaitement avec l'hypothèse d'une altération par circulation d'eaux de surface. L'échantillon prélevé au milieu de la galerie (7) est celui qui a perdu le moins d'alcalis, tandis qu'au voisinage du filon (9) la perte est maxima, la circulation de l'eau étant plus active. La faible teneur en fer totale de cette dernière roche prouve peut-être que le mica noir avait déjà disparu avant la décomposition. L'analyse 10 est un exemple d'altération superficielle dans une région sans filon, mais la décomposition de la roche est poussée moins loin.

Les granulites modifiées des épontes des filons sont caractérisées (type *c*¹) par un accroissement d'alumine et une perte de silice à peu près équivalente en poids; l'augmentation de l'alumine arrivant à égaler la moitié de la teneur normale (12, 13). Pour le type *b* il n'y a pas diminution de SiO_2 et l'apport d'alumine est plus faible (11). Contrairement à ce que pourrait faire croire l'examen microscopique, la teneur en fer des roches modifiées n'est pas de beaucoup inférieure à celle de la granulite normale, mais ce fer est peroxydé pour la plus grande partie. La forte teneur en Fe_2O_3 de l'analyse 15 (type *d*) s'explique par la présence d'oxyde de fer qui imprègne la roche en lui donnant une teinte jaune accentuée, mais cet oxyde a été probablement apporté de l'extérieur dans cette roche poreuse (structure miarolitique).

Le titane relativement abondant dans ces granites semble augmenter dans les roches modifiées. Il en est de même de

la magnésie; cet élément qui, comme le titane, se trouvait dans les micas noirs, n'a donc pas été entraîné lors de leur décomposition. La chaux est en augmentation sensible et générale, cette augmentation est évidemment en rapport avec celle de l'acide phosphorique et la fréquence de l'apatite a été constatée au microscope; mais si l'on prend le nombre de molécules nécessaires pour donner de l'apatite par combinaison avec l'acide phosphorique dosé, on s'aperçoit que la roche modifiée contient encore un peu plus de chaux que la granulite type Maupas; cela tient sans doute à ce que le plagioclase qui, nous l'avons vu, se produit en grande quantité, n'est pas une albite pure.

C'est la plus grande alcalinité de ces roches modifiées qui est le fait le plus intéressant à constater. Parfois la teneur en potasse augmente légèrement (11, 13), mais très peu; généralement elle ne paraît pas varier; par contre la soude est toujours en beaucoup plus grande quantité dans la granulite des épontes qu'un peu plus loin des filons. Cela est encore plus sensible lorsque, au lieu de considérer les poids des alcalis, on considère le nombre de molécules correspondant. La densité de la soude étant plus faible que celle de la potasse, ses molécules, toujours plus nombreuses, arrivent à l'emporter de beaucoup sur celles de potasse, et cela au point que, tandis que la granulite peu ou pas modifiée se rangeait dans les roches « sodipotassiques » de la classification américaine, les plus transformées (12, 13) sont « dosodiques » $\left(\frac{\text{K}^2\text{O feldspathisable}}{\text{Na}^2\text{O feldspathisable}} < \frac{3}{5} \text{ et } > \frac{1}{7} \right)$. On a d'ailleurs vu que l'albite était très abondante dans ces roches très caractéristiques.

L'analyse 15 est un cas exceptionnel où l'apport de potasse a également été important. Cette roche, riche en muscovite (p. 135), est en effet très spéciale.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
SiO ²	73,2	70,5	70,1	69,5	69,8	68,1	66,4	67,1	68,9	70,5	58,7	58,5	72,9	56,7
Al ² O ³	16,7	17,5	16,8	17,1	16,9	19,4	20,8	21,2	18,6	17,1	24,8	25	15,2	26,1
FeO	0,9	0,9	0,6	0,5	0,7	0,4	0,3	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3
Fe ² O ³	0,5	0,3	0,6	1,1	0,8	1,6	1,3	2,5	0,6	1,6	0,7	0,7	1,1	0,9
TiO ²	0,15	0,2	0,3	0,2	0,2	0,6	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,25	0,3
CaO	0,6	0,45	1,3	0,2	0,2	0,1	traces	0,1	traces	0,85	1,4	1,3	0,6	1,9
MgO	0,3	0,2	0,6	0,5	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,15	0,5	0,6	0,25	0,6
K ² O	4,25	4,8	4,8	4,9	5	5,1	3,8	2,7	3,1	3,9	4,6	4,9	4,5	6,7
Na ² O	3,4	3,8	3,3	2,4	2,1	2,2	1,1	0,9	0,8	1,3	4,1	6,9	3,9	5,1
P ² O ⁵	0,2	0,5	0	traces	0	0	0	0	0	0,4	0,35	0,35	0,3	0,7
P. F.	1,3	0,7	0,6	3,5	3,4	3,3	4,4	5,5	5,6	3,9	1,3	1,6	1,5	2
99,30	100,20	100,8	100,4	99,3	100,5	99,8	99,9	99,5	99,6	100,6	100,35	100,15	100,9	101,3

Si l'on calcule la composition virtuelle de ces roches d'après les principes de la méthode américaine, les nos 1, 2, 3, 11, très pauvres en éléments colorés, riches en quartz libre avec des nombres de molécules de soude et de potasse feldspathisables à peu près équivalents et très supérieurs à celui des molécules de chaux feldspathisable, tombent dans le groupe des *Liparoses*. Les nos 12, 13 et 15, très pauvres en silice, n'en ont plus assez pour saturer toutes les bases, si bien que le calcul met de la néphéline en évidence. Le n° 15, également riche en soude et en potasse, est alors une *Phlegrose*, tandis que les nos 12 et 13 correspondent à des *Nordmarkoses*. L'analyse 14 paraît se rapprocher beaucoup de celles des granulites non modifiées, cela tient à ce qu'elle a été postérieurement imprégnée de quartz (*voir* p. 136) qui a en partie digéré les feldspaths en épargnant les micas, ce qui a ramené la soude et l'alumine à leurs proportions initiales; l'oxydation du fer la rapproche des roches auxquelles elle est en réalité comparable.

IV. — CONSÉQUENCES DE L'EXAMEN PÉTROGRAPHIQUE, RELATIVEMENT A L'ÉTUDE DES FILONS.

a. — NATURE DES ÉMANATIONS QUI ONT CIRCULÉ DANS LES FRACTURES.

De ce qui précède il résulte que la modification subie par la roche des épontes des filons a consisté en un apport d'alcalis, de soude surtout, mais aussi d'un peu de potasse, d'alumine, chaux et phosphore.

Lorsque la transformation a été faible, il y a simplement eu production d'un peu d'albite et de muscovite aux dépens du microcline et du mica noir; si elle a été plus forte, une recristallisation a permis à ces deux minéraux et à l'apatite de se former en grande quantité; enfin, si l'alumine et les alcalis étaient en quantité encore plus considérable, la silice

se combinait avec eux pour donner l'albite et la muscovite, tandis que le quartz libre disparaissait. Les résultats des analyses montrent que l'apport de potasse étant généralement faible, le mica blanc abondant dans les roches modifiées a dû pour se produire utiliser celle qui était mise en liberté par l'altération du microcline.

On a vu qu'un des caractères les plus frappants qui permettent de distinguer la roche intacte de la roche modifiée, même lorsqu'elles sont prises dans le même banc à quelques centimètres l'une de l'autre, réside dans les différences d'altération des feldspaths. Tandis que dans la première les plagioclases sont troubles et remplis de séricite, ils sont frais et limpides dans la seconde ⁽¹⁾, les microclines au contraire peu altérés loin des filons le sont généralement fortement dans leur voisinage.

Lors de sa transformation, la roche, sans redevenir fluide dans sa masse, était susceptible de recristalliser ; or l'apport de Al^2O^3 était grand, tandis que celui de SiO^2 était nul ; il était naturel dans ces conditions qu'il tendît à se former des silicates susceptibles de fixer le plus grand nombre possible de molécules d'alumine pour une faible quantité de silice. Dans le microcline six molécules de SiO^2 sont combinées à une seule molécule de Al^2O^3 ; elles suffisent dans la muscovite à en saturer beaucoup plus. La présence d'une légère quantité d'acide fluorhydrique favorisait la production du mica, qui s'est ainsi emparé de la potasse des microclines devenus par suite troubles et terreux toutes les fois qu'il s'est développé en quantité appréciable. L'albite, au contraire, est le silicate sodique le plus riche en alumine qui puisse se

⁽¹⁾ J'ai observé très fréquemment l'albite limpide au contact de filons riches en cassitérite (Massif central, nord du Portugal, Tonkin, etc.) ou en wolfram [par exemple à La Villatte (Haute-Vienne)] et dans la roche très riche en cassitérite exploitée comme minerai dans le Queensland (Australie),

produire dans ces conditions (la paragonite ne se rencontrant que dans les roches métamorphiques), elle a donc pu cristalliser, empruntant au besoin au quartz la silice qui était nécessaire à la formation de nouveaux cristaux.

Pourquoi les granulites modifiées voisines des filons sont-elles en général très fraîches ? Cela peut tenir :

Soit à leur résistance toute spéciale à la décomposition ;

Soit à la nature des eaux qui ont circulé dans les fractures.

Assurément la granulite riche en alcalis résiste mieux que la granulite normale, car même en admettant que les filons n'aient pas favorisé l'altération de la première, on s'attendrait à les voir toutes deux dans le même état de conservation, puisque celle qui n'est pas modifiée était certainement tout à fait fraîche lors de sa recristallisation partielle. Deux particularités de la roche modifiée permettent d'expliquer sa stabilité :

1° Elle ne contient plus de minéral capable, par sa décomposition facile, de mettre en liberté la potasse nécessaire à la formation de la séricite dans les plagioclases (¹).

2° L'albite formée aux dépens du microcline est très résistante.

En effet, le microcline a perdu sa potasse lors de la recristallisation et n'est plus susceptible d'en mettre en liberté ; la biotite a disparu et la muscovite est très stable. Dans le cas où le microcline a été mieux conservé, il semble que la séricite se développe plus facilement.

Il est également certain que l'albite de nouvelle formation s'altère plus difficilement que les anciens plagioclases. Dans les roches recristallisées, la distinction des divers plagioclases est impossible (tous d'ailleurs sont transparents) ;

(¹) Voir à ce sujet les très intéressantes observations de M. J. de Lapparent (*Bull. Soc. Min.*, t. XXXII, p. 235).

mais dans celles qui n'ont subi que des modifications légères, en relation ou non avec les fissures, j'ai souvent constaté que l'albite formée aux dépens du microcline était la plus limpide. C'est le cas, par exemple, pour celle qui entoure des débris de microclines englobés, pour celle qui forme au contact des feldsphaths potassiques une croûte acide autour d'un cristal initial un peu plus basique, pour celle enfin des bourgeons à quartz vermiculé.

Pourtant la granulite modifiée soumise un temps suffisant à l'action des agents atmosphériques finit, elle aussi, par s'altérer, ainsi qu'on peut fort bien l'observer à la carrière de « Les Châtelets » par exemple. Si donc elle a résisté pendant le remplissage des filons, il faut admettre que les fluides qui y circulaient étaient sans action sur elle. Comme d'une part leur venue a succédé aux émanations qui ont modifié la roche, comme d'autre part la muscovite qui s'est formée dans les fissures du quartz prouve qu'après le remplissage les agents en circulation étaient encore riches en alcalis, il y a lieu de penser que pendant ce remplissage ils l'étaient également et n'avaient, par suite, pas tendance à s'emparer de ceux de la roche. L'enduit micacé dont les épontes se sont couvertes ou l'imprégnation superficielle de silice qu'elles ont subi ont contribué aussi à leur protection ultérieure.

b. — ÉPOQUE A LAQUELLE SE SONT PRODUITES LES MODIFICATIONS
DE LA ROCHE DES ÉPONTES.

La généralité de ces phénomènes d'alcalinisation au voisinage des fractures étant ainsi établis, il importe de rechercher à quelle époque ils se sont produits. On peut démontrer :

1° L'alcanisation a suivi de très peu la première cristallisation de la roche ;

2° Elle est postérieure à la formation des pegmatites et aplites ;

3° Elle s'est, au moins en certains cas, produite avant le remplissage des filons.

Les venues alcalines ont commencé à faire sentir leur action aussitôt la consolidation de la roche. Si nous la prenons au moment où elle vient d'achever de se solidifier, c'est le microcline feldspath potassique qui s'est formé le dernier. Nous avons la preuve que peu après les fumerolles alcalines riches en soude ont imbibé la granulite. Nous constatons en effet, dans le type profond, la production dans les microclines de ces bourgeons d'albite à quartz vermiculé, tandis que les plagioclases s'accroissent souvent, aux dépens de leurs voisins potassiques, d'une croûte d'albite orienté parallèlement à eux-mêmes et, dans le type Maupas, un accroissement des facules (primaires ?) d'albite et même parfois un début de transformation du microcline en albite.

Lorsque les premiers mouvements de la région eurent fissuré le massif, c'est par ces chemins plus faciles que les fumerolles s'échappèrent vers l'extérieur, et soit que la venue alcaline ait été à ce moment remarquablement intense, soit que la simple concentration dans ces voies naturelles ait facilité l'action des fluides en mouvement, la transformation sur les parois des fissures fut beaucoup plus forte que dans la masse même, et telle que la roche arriva même en certains points à recristalliser ⁽¹⁾.

Pour ce qui est de la postériorité de l'albitisation aux formations pegmatiques, elle résulte de ce qui a été exposé pages 111 et suivantes, si bien qu'il est inutile de revenir sur ce point.

(1) La transformation en un point donné a eu pour cause, non seulement l'action des fluides circulant dans la fissure, mais aussi celle des émanations qui se dégageaient en ce point.

La composition même des pegmatites paraît d'ailleurs indiquer qu'elles datent de la fin de la cristallisation du noyau (moment de cristallisation des feldspaths potassiques), tandis que l'albitisation aux parois des fissures semble devoir être contemporaine des modifications ultérieure subies par ces mêmes feldspaths

C'est probablement plus tard encore que se produisirent les poussées les plus importantes. La granulite, aussi bien celle qui a été très modifiée que celle qui est éloignée des filons, en a conservé les traces; nous avons vu que le quartz de la roche normale a des extinctions roulantes, conséquence des efforts subis; or, les roches modifiées quartzeuses présentent également ce même caractère. Dans les types *b* et *c*, on voit ainsi des albites parfaitement limpides et évidemment recristallisées, brisées, les deux morceaux ayant subi l'un par rapport à l'autre de légers déplacements. Mais c'est surtout à la mine même, aux épontes des gros filons, que ce broyage s'est fait sentir. Parmi les débris extraits du Puits Saint-Michel on rencontre des échantillons qui ont leurs micas grossièrement orientés parallèlement entre eux et sont très caractéristiques en lames minces; le quartz est, comme cela arrive toujours dans les roches granitiques, le minéral qui a le plus souffert; il est divisé en petits grains anguleux à orientations différentes, tandis que les albites ne sont que quelquefois brisées et que les microclines ont encore mieux résisté. On peut trouver d'autres blocs qui ont conservé des traces encore plus frappantes du broyage; le quartz filonien adhère à la roche qui est divisée en lits parallèles entre eux et inclinés sur le plan de l'éponte. Sous le choc du marteau elle se brise suivant ces plans garnis de muscovite et fortement striés par le glissement.

On ne peut pas croire que ce broyage soit postérieur au remplissage quartzeux et que la roche se soit écrasée contre

les filons (¹), car tandis qu'on voit dans la granulite des plans de glissement indiquant un déplacement très appréciable des parties au contact, les veinules de quartz qui les recoupent n'ont pas été brisées. Le quartz qui, dans les échantillons des types *c*¹ et *c*², pénètre ainsi les roches modifiées et vient y redissoudre les feldspaths, montre bien que l'albitisation des épontes a précédé le remplissage des filons.

Le résultat de l'effort tectonique qui a, ainsi qu'on vient de le voir, si nettement laissé sa trace, fut de rendre béantes les fissures. Elles étaient suffisantes pour laisser passer les émanations qui avaient provoqué la recristallisation, mais n'étaient peut-être pas grandes ouvertes. Dans les voies ainsi créées circulèrent les fluides qui, laissant déposer la silice, devaient donner naissance aux filons.

Le plus souvent le quartz s'est séparé de ses épontes par un mince enduit micacé, mais il est des points où il s'y est intimement soudé. Lorsque cette éponte était une roche très modifiée, le quartz s'y est introduit d'autant plus facilement que la cohésion entre les divers éléments constituants était moins grande, et il y a eu silicification aux environs du filon (types *c*² et *e*). Le quartz qui s'est ainsi développé a, on l'a vu, partiellement digéré les feldspaths d'ancienne ou de nouvelle formation, mais sans jamais provoquer la moindre kaolinisation ; il se reconnaît en lames minces à l'abondance et à la taille de ses inclusions liquides ; mais souvent l'examen macroscopique suffit et, sur les types *c*, la postériorité du quartz est évidente sans avoir besoin de recourir au microscope.

(¹) Après le remplissage il y a encore eu des mouvements du sol, comme l'indique le rejet du grand filon (p. 13), et les extinctions onduleuses de certains quartz filoniens (p. 65).

CHAPITRE V.

LES INCLUSIONS DU QUARTZ.

On a vu comment, lors du remplissage des filons, les roches albitisées, qui s'étaient préalablement formées, ont parfaitement résisté à l'altération. On a vu aussi quels sont les minéraux qui se sont développés dans les filons, on serait donc en droit d'émettre déjà quelques hypothèses sur la nature des éléments chimiques qui se dégageaient lors de ce remplissage. Mais il est une étude qui fournit d'utiles renseignements, c'est celle du quartz filonien lui-même. On trouvera plus haut la description de ce quartz, et j'aurai l'occasion d'étudier ses relations avec les minéraux inclus et son mode de dépôt.

Étant donné le grand nombre et le volume relativement considérable des inclusions liquides à libelle qu'il contient, j'ai essayé de déterminer leur nature. Vogelsang fait observer que lorsque le libelle est mobile à la température ordinaire, le liquide est de l'acide carbonique, tandis que s'il est immobile, c'est de l'eau salée qui remplit les cavités, cette eau ne se volatilissant pas pour une faible élévation de température.

Le libelle des inclusions est à peu près immobile. Pas complètement toutefois, car, dans certaines d'entre elles, il finit par se déplacer lentement lorsque la préparation est fortement inclinée. Dans une plaque de $\frac{1}{10}$ ou $\frac{2}{10}$ de millimètre chauffée sous le microscope jusqu'à 100°, les inclu-

sions ne varient pas, et l'on dépasse le point critique de CO_2 sans constater la volatilisation du liquide. Si l'on chauffe quelques instants, dans la flamme d'un bec Bunsen un fragment de quartz, et qu'on y taille une préparation, on reconnaît les cavités, mais le liquide s'est vaporisé et s'est échappé par d'innombrables fissures; le quartz est devenu beaucoup plus fragile, a perdu son éclat gras et ne répand plus d'odeur sous le choc.

On doit conclure que c'est l'eau qui remplit ces petites cavités; mais le libelle est-il le résultat de l'insuffisance de leur remplissage, ou représente-t-il un gaz? Quels sont, d'autre part, les substances que cette eau peut contenir en solution? Telles sont les deux questions qu'il restait à résoudre.

Après quelques essais infructueux de broyage du quartz dans un espace clos rempli d'un gaz inerte (Az), j'ai pu facilement extraire les gaz du quartz par la calcination dans le vide.

DISPOSITIF EMPLOYÉ. — Un bloc de quartz est réduit en morceaux de la grosseur d'une noisette, et chacun de ces morceaux soigneusement examiné à la loupe. Tous ceux qui contiennent quelques débris de minéral, d'apatite, ou même simplement quelques paillettes de muscovite tapissant les fissures sont rejetés. Les morceaux de quartz bien purs, ainsi obtenus, sont introduits dans un tube de verre de Bohême de 2^{cm} à 3^{cm} de diamètre, fermé à une de ses extrémités. Après remplissage, le tube est étiré et réuni à une trompe à mercure. Le vide, une fois obtenu dans tout l'appareil, est maintenu plusieurs jours afin de bien s'assurer de la parfaite évacuation de l'air, du desséchement du quartz et de l'état des soudures. Puis le tube est chauffé progressivement, un manomètre permettant de surveiller le dégagement, et un

pyromètre Le Chatelier indiquant à chaque instant les températures atteintes, complètent le dispositif.

Dans toutes les expériences, une légère pression s'est manifestée avant 200° et le dégagement était maximum vers 250°. Le quartz décrépité, et de l'eau se condense à la sortie du tube. En maintenant longtemps la température à 250°, le dégagement diminue progressivement puis s'arrête; il reprend si l'on élève la température, pour diminuer de nouveau et recommencer si l'on chauffe encore plus. Une nouvelle évacuation de gaz se produira, par exemple à 300°, puis à 400°, tandis que le quartz décrépité de nouveau. Cela tient évidemment à ce que les fragments irréguliers de quartz ne touchant que par leurs bords au tube, et n'étant pas bons conducteurs de la chaleur, leur température reste au-dessous de celle du tube lui-même. Cette hypothèse est appuyée par le fait suivant : si l'on opère dans un tube de faible diamètre (15^{mm}) chauffé une heure environ entre 250° et 300°, le dégagement pour des températures supérieures sera presque nul; si, au contraire, le tube a 3^{cm} de diamètre intérieur, on ne recueillera entre 250° et 300° qu'environ les $\frac{2}{3}$ du volume qu'on pourra obtenir en allant jusqu'à 500°.

Toutes les expériences ont été faites sur des quantités de quartz variant de 120^g à 250^g. Le gaz était recueilli sur le mercure. Le quartz était pesé avant et après l'expérience, la perte étant toujours un peu supérieure au poids de l'eau recueillie.

Dans ces conditions, pour 100^g de quartz fétide à éclat gras de la grande tranchée, on obtient en moyenne :

Gaz	15 à 20 ^{cm³}	
H ² O.....	0 ^g ,4	environ
Pétales.....	0 ^g ,05	»
Pertes en poids du quartz.....	0 ^g ,5	»

1° *Pétales*. — Je réunis sous ce nom les divers hydrocar-

bures liquides et semi-fluides qui se réunissent à la sortie du tube. Les morceaux de quartz situés du côté du dégagement sont souvent recouverts à la fin de l'expérience d'un liquide jaunâtre, mais la plus grande partie de ce liquide se dépose dans la conduite de dégagement à 2^{cm} ou 3^{cm} de la partie chauffée, tantôt sous forme d'un enduit, tantôt en une ou deux gouttes, ce qui en rend l'étude plus facile. Ces gouttes sont constituées par un produit brunâtre de consistance pâteuse à la température ordinaire, formant une masse grenue au sein d'un liquide plus clair. Le liquide est volatil; il répand une odeur très caractéristique qui n'est plus celle dégagée par le quartz sous le choc, et qui rappelle à la fois celle du bitume et celle d'une matière organique calcinée. Exposé à l'air, ce pétrole s'évapore; au bout de quelques semaines le quartz jauni est redevenu blanc, et les gouttes ont beaucoup diminué de volume; il ne reste plus qu'une matière brune qui a la consistance de la cire.

2° *Eau*. — Le liquide recueilli est toujours opalescent, par suite de la présence de pétroles en suspension, qui lui communiquent leur odeur. Il bleuit le papier de tournesol et donne avec AzO^3Ag :

- | | |
|---|------------------|
| 1° Un léger précipité blanc soluble dans AzH^3 | HCl |
| 2° Un précipité lourd jaune | H ² S |

avec BaCl^2 :

- | | |
|-----------------------------|---------------|
| Léger précipité blanc | SO^2 |
|-----------------------------|---------------|

3° *Gaz*. — Le gaz en se dégageant sur le mercure produit à sa surface une pellicule noire adhérente au verre ayant l'aspect d'un sulfure. Il est vrai que le mercure n'est attaquant par H^2S qu'au-dessus de 600°, mais : 1° le gaz dégagé était très humide; 2° le mercure était impur (j'y ai reconnu

à l'analyse fer, plomb, etc.); 3° ce même mercure recouvert d'eau sulfureuse se recouvre rapidement d'un voile noir identique à celui qui se produisait dans l'éprouvette à gaz.

Le gaz recueilli a été analysé à l'aide de l'appareil Bonnier et Mangin qui permet d'opérer sur de très petites quantités : 1° 78 à 80 pour 100 du volume est absorbé par la potasse; 2° il n'y a pas trace d'oxygène (pas de coloration avec l'acide pyrogallique). Or CO_2 , H_2S , HCl , SO_2 sont absorbables par la potasse; la réaction alcaline de l'eau condensée permet d'écarter les deux derniers qui, très solubles, s'y seraient dissous en la rendant acide. On a donc $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}$; l'odeur du gaz qui est analogue à celle du pétrole volatil empêchant de percevoir celle de H_2S , ce qui prouve que celui-ci n'est pas en grande quantité.

Sa présence, déjà prouvée par les réactions de l'eau recueillie, et par la formation de sulfure sur le mercure, l'a été directement en plaçant sur le trajet du gaz un tube fin (1^{mm} de section) contenant du sulfate de cadmium pulvérisé, retenu par un coude du tube et de petits tampons en coton de verre. La conduite était disposée de telle sorte que son inclinaison fit parvenir l'eau dégagée sur le sel de cadmium qui, dans ces conditions, jaunit nettement; si l'on pompe lentement de façon que le gaz reste au contact du réactif, l'auréole noire, produite lors de la sortie des bulles sur le mercure, diminue d'intensité; mais elle subsiste généralement, la fixation à l'état de sulfure de cadmium étant incomplète.

La présence de l'hydrogène sulfuré en quantité très appréciable est donc certaine, et ce gaz existe bien dans les inclusions; il ne peut, en effet, provenir des sulfures métalliques décomposés par la vapeur d'eau puisque :

1° Chaque morceau de quartz a été examiné à la loupe et

seules quelques fines lamelles de mica ont pu passer inaperçues dans les fissures;

2° Il n'existe pas dans le quartz de sulfure ou arsenio-sulfure de fer très divisé : 50^{cs} de quartz pulvérisé finement, traités par l'eau régale, n'ont permis de caractériser que des traces de fer.

Une fois CO^2 et H^2S éliminés, le résidu, 20 pour 100 environ, est formé d'un mélange de carbures d'hydrogène variés.

Résidu salin. — Le quartz, finement pulvérisé et traité par l'eau, donne un résidu salin; il est difficile d'apprécier la valeur de ce résidu par suite de la presque impossibilité de se débarrasser de la silice pulvérulente qui passe à travers les filtres, résiste à la centrifugation et dont les plus fines particules rendent encore le liquide légèrement opalescent après un an de repos. Il est d'environ 5^{cs} pour 100^{cs} de quartz. C'est un mélange de carbonates de chlorures et de sulfates de soude et de potasse.

CHAPITRE VI.

ÉTUDE COMPARATIVE DE QUELQUES AUTRES GISEMENTS STANNIFÈRES.

Il est intéressant, après avoir ainsi étudié la mine de la Villeder, de se reporter aux gisements classiques de Saxe et de Cornouailles, afin de pouvoir se rendre compte en quoi ils diffèrent de celui que nous venons d'examiner, et de rechercher si les uns ou les autres ont avec lui quelques points communs.

Je n'ai pas la prétention, dans ce qui va suivre, de décrire des exploitations étudiées de si près et depuis si longtemps, je veux seulement examiner, comme à la Villeder, les modifications que les roches granitiques ont subi au voisinage et sous l'influence des filons, et essayer de préciser les relations qui existent entre ces modifications et la cristallisation de la cassitérite. Je ne décrirai donc que les roches, recueillies par moi-même sur le terrain, dont on peut observer des transformations constantes et certainement en relation avec les fractures. Pour la description pétrographique de ces massifs, de même que pour l'exposé des différents systèmes de filons, la richesse en minerai, etc., il suffira de se reporter aux publications antérieures, dont on trouvera l'indication dans les Livres de MM. Fuchs et de Launay (*Traité des gîtes minéraux et métallifères*) et R. Beck (*Traité de gisements métallifères*). Ces Ouvrages donnent d'ailleurs d'excellents résumés sur les principaux gisements connus.

I. — SAXE ET BOHÈME.

Les principaux Ouvrages allemands sur la région Altenberg-Zinnwald sont les suivants : H. MULLER, *Bildung der Zinnstockwerke, Berg und Hüttenmännische Zeitung* (1865). — E. REYER, *Zinnerzführende Tieferuptionen von Altenberg und Zinnwald, Jahrbuch der k. k. geol. Reichsanstalt* (1878). *Geologie des Zinnes* (1881). — H. ZINKEISEN, *Geognostisch-mineralogische Beschreibung der gegend von Zinnwald und Altenberg* (1888). — K. DALMER, *Section Altenberg-Zinnwald de la Carte géologique détaillée du royaume de Saxe, avec la Notice explicative* (1896); *Zeitschr. für Praktische Geologie* (1894), p. 313. — R. BECK, Articles dans *Zeitschr. für Prakt. Geol.* (1896 et 1907).

Altenberg.

Le gîte d'Altenberg se trouve au milieu d'un massif éruptif traversant les gneiss. Ce massif allongé du Nord au Sud est essentiellement formé par le porphyre de Téplitz, roche à deux temps de solidification très nettement distincts, composée d'une pâte holocristalline (*quartz, feldspath*, rares petits cristaux de *biotite* localement abondants, un peu de *chlorite, apatite* et *magnétite*) et de phénocristaux de *quartz* corrodés par le magma, puis nourris aux dépens de la pâte, ce qui leur donne un contour finement dentelé, d'*orthose* et d'*oligoclase andésine*. Les feldspaths, surtout l'*orthose*, sont fréquemment altérés. C'est un microgranite passant à la rhyolite.

Sur tout le bord nord-est du massif, on rencontre un autre microgranite qui se distingue du précédent par une pâte à éléments moins fins, passant lui-même à une roche dans

laquelle l'amphibole est assez fréquente; le quartz de la pâte de cette dernière est disposé pegmatiquement par rapport aux feldspaths, celui en phénocristaux est toujours auréolé; les phénocristaux d'orthose, très volumineux, ont une teinte rose, ceux de plagioclases sont gris et de plus petite taille. Les deux microgranites, tous deux postérieurs au porphyre de Téplitz, sont de même âge et il est possible que le second ne soit qu'un faciès de bordure du premier. Toujours est-il qu'en différents points et notamment aux environs d'Altenberg, apparaissent des pointements d'une roche holocristalline grenue.

Les filons se rencontrent dans la granulite et dans le microgranite dont le type le plus commun, d'un rose pâle, est d'un grain fin qui, à l'œil nu, paraît presque régulier. Les deux temps de cristallisation sont très visibles en lames minces mais sont beaucoup moins nets que dans le porphyre de Téplitz, les phénocristaux étant de petite taille (1^{mm}), tandis que les éléments de la pâte ont un diamètre moyen de $0^{\text{mm}},1$. De plus, il existe quelques individus formant passage entre ces derniers et les premiers cristaux formés. Parmi les phénocristaux on reconnaît le *quartz*, contenant des inclusions à libelle fréquentes, mais de petite taille; les individus ont une tendance à présenter des formes nettes, mais leurs contours sont finement déchiquetés, par suite de la soudure de petits cristaux de même orientation, lors de la cristallisation de la pâte. Les cristaux d'*orthose* comme ceux de quartz ont continué à s'accroître pendant la formation de la pâte ainsi que l'indiquent leurs contours déchiquetés et les petits individus de quartz qu'ils englobent souvent sur leurs bords. Ils sont souvent altérés et contiennent fréquemment des plages irrégulières d'un autre feldspath plus biréfringent que sur les sections favorables; on reconnaît pour très voisin de l'*albite*. Ces plages, généralement très nombreuses, sont

parfois de petite taille, mais parfois aussi remplissent presque tout le feldspath potassique. L'orthose et l'albite, orientées toujours l'un sur l'autre, ont peut-être cristallisé en même temps, mais l'irrégularité de la distribution du plagioclase me fait penser qu'il y a eu albitisation, soit contemporaine de la fin de la cristallisation, soit plutôt postérieure à la complète solidification. Il existe aussi quelques grands cristaux de plagioclase, mais leur disposition, leurs macles fines et discontinues, les petits débris d'orthose qu'ils contiennent parfois, permettent de croire que ce sont des individus de ce dernier feldspath entièrement épigénisés.

Dans la pâte on retrouve le *quartz*; certains individus sont en grains arrondis, les autres sont finement dentelés sur les bords : ce sont de petits phénocristaux. Les *feldspaths* sont tout à fait comparables à ceux décrits ci-dessus, toutefois parmi les plus petits individus, ceux de plagioclase sont les plus fréquents. Le *mica* presque incolore a un angle d'axe très faible, il paraît uniaxe, c'est une *zinnwaldite*; ses cristaux sont généralement plus gros que ceux des autres éléments de la pâte; sans inclusions de quartz dans leur partie centrale, ils moulent, sur leurs bords, quartz et feldspath de la pâte; on doit en conclure que le début de leur cristallisation est contemporain de celle des phénocristaux, et qu'ils ont continué à s'accroître jusqu'à solidification complète du magma. Ils contiennent de petits zircons autour desquels les auréoles polychroïques sont nettes { n_g brun marron.
 n_p presque incolore.

La *topaze* se rencontre fréquemment en grains, dans la pâte, mais elle est peu abondante.

C'est dans ce microgranite ⁽¹⁾ que se trouvent la plupart

(¹) Voir la description de la granulite dans la Notice explicative de la Carte.

des filons stannifères. Ils se présentent sous forme d'une multitude de bandes vert sombre. Les unes n'ont pas plus de 1^{mm} d'épaisseur, d'autres plusieurs centimètres; d'autres, enfin, ont jusqu'à 50^{cm} ou 60^{cm}; mais les fractures sont elles-mêmes toujours très peu puissantes, les parties vertes sont une modification de la roche des épontes, non un remplissage filonien. Quelle a été l'origine de ces fractures? je ne le discuterai pas ici, me contentant de signaler que le granite intact garde les traces légères d'un effort subi, que le quartz des parties vertes (zwitter) présente des extinctions légèrement roulantes, et que certains filons se prolongent dans le microgranite avoisinant.

Un échantillon prélevé au milieu d'une bande de zwitter un peu puissante, a l'aspect d'une roche verte, compacte, très résistante, dans laquelle on ne voit que le quartz et de petits cristaux de mica. Au microscope on reconnaît très bien encore la structure primitive, mais les cristaux de quartz ont été nourris par de la silice mise en liberté par la décomposition des feldspaths, eux-mêmes complètement décomposés. Ces derniers sont transformés en une substance mica-cée formée de petits cristaux verdâtres, à biréfringence élevée voisine de 0,04 ($n_g - n_p$), presque uniaxes négatifs et qu'il faut croire très voisins du mica primaire (zinnwaldite), mais plus ferrifère. Au mica, qui épigénise ainsi les feldspaths, s'ajoutent çà et là de petits amas de topaze. Elle est en fins cristaux très allongés suivant l'axe vertical et ne peut se caractériser qu'en bordure des vides que présente la masse de mica; sa quantité est généralement très faible, mais dans certains échantillons c'est, suivant les points, le mica ou la topaze, alors associée au quartz ⁽¹⁾ qui est le plus abondant.

(1) Ce quartz secondaire forme alors une sorte de trame qui s'éteint d'un seul coup pour tout ou partie d'un ancien feldspath.

Au milieu de la matière micacée verdâtre, s'observent autour de petits cristaux, sans doute de zircon, des auréoles brunes qui, regardées avec un seul nicol, ne changent pas de teinte lorsqu'on fait tourner la préparation ; cela tient à ce que l'auréole se produit aux dépens de paillettes de différentes orientations. Il est difficile de se rendre compte du phénomène étant donnée la très petite taille des cristaux, mais on peut comparer avec les auréoles, de la roche transformée de Saint-Day en Cornouailles (p. 179).

Le mica et la topaze de la roche primitive ont subsisté sans modification.

Lorsque la préparation a été taillée perpendiculairement à une bande de *zwitter* de faible épaisseur, on peut suivre le passage à la roche intacte. La transformation des épontes est plus étendue lorsque la fissure est peu ouverte : celle-ci est d'ailleurs toujours très fine ; elle se dévie parfois au contact des grains quartzeux, de façon à les contourner, mais souvent aussi traverse un cristal dont les deux fragments, qui ont conservé leur orientation primitive, et n'ont été que très légèrement déplacés, se reconnaissent de part et d'autre. Il y a donc eu véritablement fracture (tous les quartz ont des extinctions onduleuses), mais sans déplacement relatif des épontes.

Le remplissage est formé par une grande quantité de très fines baguettes, probablement de *topaze*, perpendiculaires aux parois (quelquefois elles tendent à se grouper en houppes), souvent plus abondantes dans les feldspaths que dans le quartz ; elles ont, d'ailleurs l'air d'être incluses dans ce minéral et formées à ses dépens comme cela a lieu pour les feldspaths. L'axe de la veinule est formé soit de paillettes de mica, identiques à celles qui remplissent les feldspaths, soit de grains de quartz cimentés par les baguettes de topaze ; on a alors l'aspect d'une véritable brèche de filon à très petits éléments.

Les préparations étudiées ne présentaient pas de cassitérite, mais seulement et rarement de très petits cristaux de mispickel.

Le massif d'Altenberg n'a pas été fissuré une seule fois; on a distingué plusieurs directions de filons, et les anciens auteurs avaient déjà reconnu qu'ils n'étaient pas tous du même âge. Il existe, en effet, des filonnets quartzeux qui recoupent les bandes de zwitter et sont généralement plus riches qu'elles en minerai. Même lorsque le quartz n'existe pas, on peut observer que le zwitter présente des fissures postérieures à sa formation, elles-mêmes recoupées parfois par d'autres encore.

Une préparation montre par exemple un zwitter très comparable à celui décrit ci-dessus, traversé par une veinule de 1^{mm} environ. A ses épontes le zwitter (1) est imprégné d'oxyde de fer irrégulièrement distribué, puis viennent des bandes latérales peu biréfringentes, formées de quartz et de chlorite avec de fins cristaux enchevêtrés de topaze, et quelques grains de cassitérite et de fluorine, puis deux minces lisérés de mica vert pâle (zinnwaldite) limitent un vide axial postérieurement rempli de gros cristaux (0^{mm},8) de fluorine, de baguettes de topaze très souvent groupées en rosettes, et de cristaux de cassitérite parfois volumineux (0^{mm},3). Cette veinule est nettement recoupée par une autre très mince, remplie d'un mica en plus grands cristaux (0^{mm},03 en moyenne) que ceux dont on vient de parler

$$\begin{array}{l} n_g \left\{ \begin{array}{l} \text{vert gris tirant légèrement sur le brun,} \\ n_m \end{array} \right. \\ n_p \quad \text{vert jaune très pâle,} \end{array}$$

et plus colorés.

(1) Les petites cavités que présentent souvent le zwitter sont remplies par les paillettes d'un mica franchement marron, suivant n_g .

Graupen.

Une autre mine d'étain moins importante, mais pourtant bien connue, est celle de Graupen, située au nord de cette ville et à 6^{km} sud-est de Zinnwald. Il affleure là, au bord, mais à travers le porphyre de Teplitz, un petit dôme de granulite ⁽¹⁾. L'exploitation actuellement la plus importante s'ouvre dans le gneiss, à flanc de coteau et se compose d'un simple étoilement de galeries, toutes de même niveau ⁽²⁾. M. Beck signale, dans certains filons qui se prolongent dans le gneiss, l'abondance de l'orthose et de la fluorine, dans d'autres, le quartz, le mica zinnwaldite avec zones de zwitter à topaze; ils ne sont sans doute pas de la même époque. A la surface du sol on peut, dans les environs du dôme granitique, recueillir des échantillons de roche rose traversés de bandes sombres, absolument comme à Altenberg et à Zinnwald.

Zinnwald.

C'est à 3^{km} au sud d'Altenberg, juste sur la frontière autrichienne, à une altitude de plus de 800^m, que se trouvent les anciennes exploitations de Zinnwald. Presque tous les puits étaient en Saxe, quelques-uns en Bohême, mais tous, sauf un ⁽³⁾, sont abandonnés et l'importance de cette mine ne se manifeste plus que par l'énorme superficie occupée

⁽¹⁾ Cette roche est très comparable à celle d'Altenberg. La structure microgrenue est toutefois plus nette.

⁽²⁾ Certaines d'entre elles vont, paraît-il, jusqu'à Zinnwald. En 1910, la mine qui n'occupait que 30 ouvriers paraissait sur le point d'être abandonnée.

⁽³⁾ On en tire du quartz et du porphyre de Teplitz avec bandes de zwitter qu'on broie dans une petite usine voisine du puits.

par les déblais ⁽¹⁾. Ceux-ci sont pour la plus grande partie formés de greisen uniquement constitué de quartz et de mica gris blanc (2E voisin de 49°), facilement fusible et riche en lithine (zinnwaldite). Mais on rencontre aussi des échantillons de la roche normale du massif, c'est une granulite claire, à grain un peu plus gros et à structure plus franchement granitique que celle d'Altenberg, pauvre en mica (zinnwaldite) et riche en orthose, elle forme un dôme entouré de tous côtés par le microgranite dit *porphyre de Téplitz*.

Le greisen forme dans cette granulite une série d'assises emboîtées les unes dans les autres, à peu près parallèles à la surface du massif et qui ont été souvent décrites. Mais, si en certains points on rencontre ainsi des roches sans feldspath, celui-ci n'en existe pas moins souvent en abondance et l'on peut recueillir des échantillons qui ne sont guère constitués que par l'orthose parfaitement frais et la zinnwaldite riche en lithine; ces deux minéraux, d'ailleurs très irrégulièrement distribués, entourent parfois des noyaux de quartz grisâtre.

Quant aux filons, les uns sont couchés et se trouvent au milieu des bandes de greisen; ils se prolongent mais s'appauvrissent dans le porphyre de Teplitz. D'autres sont presque verticaux et rejettent les premiers, leur remplissage est soit comparable, soit formé de roche broyée et altérée ⁽²⁾.

Le mode de formation du greisen et des fractures a été souvent traité ⁽³⁾ et le plus généralement attribué à des fissures de retraits aux parois desquelles les fluides en circulation auraient provoqué des réactions variées et notamment

(1) On recherche dans ces déblais les débris de wolfram qui y ont été rejetés.

(2) Il en existe encore de barytiques, mais très postérieurs.

(3) Pour E. Reyer, les greisens sont des formations primaires, tandis que pour K. Dalmer ils sont secondaires (*voir* les Ouvrages signalés).

l'attaque des feldspaths et leur kaolinisation. Il est bien vrai que les couches de greisen paraissent par leur disposition et leur nature être contemporaines de la solidification de la masse granitique, et l'hypothèse de fissures de retrait permet de les expliquer; la roche primitive a complètement recristallisé, si même elle était déjà vraiment solidifiée, au point de donner ces formations dont ni le grain, ni la nature des éléments ne rappelle le granite voisin. Ce ne sont pas je pense tant les fluides acides en circulation dans la fissure, que ceux qui s'échappaient de la roche tout le long des parois de ce chemin ouvert dans la masse, qui entraînaient avec eux les éléments alcalins (surtout la soude) favorisaient la cristallisation du mica et du quartz, et donnaient ainsi naissance au greisen. Les formations riches en orthose dont il a été question ci-dessus doivent être postérieures au greisen mais de peu; les fumerolles condensées dans des régions d'où elles ne pouvaient que difficilement s'échapper, sous le manteau porphyrique qui recouvrait le granite par exemple ⁽¹⁾, ou, dans des fissures ne permettant pas une sortie facile, provoquaient la cristallisation de ces amas riches en feldspath, entièrement comparables, comme formation, aux accidents pegmatiques des granites ⁽²⁾.

La production dans un même massif et sensiblement à la même époque, de régions, les unes riches, les autres pauvres en un même élément, est une manifestation d'un phénomène naturel qu'on a souvent l'occasion d'observer en pétrographie; une même vapeur ou une même solution pourront, ou déposer, ou au contraire entraîner un même corps précé-

⁽¹⁾ Au contact du porphyre le granite est à plus gros grain.

⁽²⁾ J'ai recueilli de ces échantillons presque exclusivement formés d'orthose, où l'on aperçoit, au milieu de ce feldspath très frais, de rares cristaux de cassitérite (3^{mm}), de la fluorine en petits cubes et un minéral indéterminable épigénisé par la damourite verdâtre translucide,

deument formé, et cela par suite d'une variation très faible dans la température, la concentration, la nature des éléments en circulation, etc. On peut citer par exemple, les résorptions magmatiques si fréquentes lors de la cristallisation des roches, les remises en mouvement des minerais dans les filons, etc. Greisen primaire ⁽¹⁾ et roche à feldspath sont donc, je crois, sensiblement contemporains, leur mica est un point commun; mais, tandis que le premier est la conséquence du départ facile des fumerolles, la seconde est le résultat de leur condensation locale.

Le remplissage des filons s'est-il effectué lors de la formation du greisen? C'est l'opinion la plus généralement admise, il y a pourtant lieu de remarquer :

1° Le remplissage est nettement zoné, comme dans un filon produit par voie aqueuse. Le mica zinnwaldite en grands cristaux jaunes, devenant grisâtres par altération ($2E = 46^\circ$) garnit les épontes sur lesquelles ils sont fixés par une face *m* ou *g*¹; puis vient le quartz, soit en masse à apparence compacte, soit en gros prismes, le plus souvent perpendiculaires aux parois, au moins dans leur voisinage; les minerais: cassitérite et wolfram, se rencontrent soit dans le quartz, soit entre le quartz et le mica, réunis plus près de l'éponte. Des druses existent souvent, soit irrégulières en des points quelconques, soit sur la ligne médiane;

2° Des filons traversent les parties riches en orthose, le feldspath est, à leur contact ⁽²⁾, resté très frais;

⁽¹⁾ Voir plus loin la définition de ce terme.

⁽²⁾ Lorsqu'un filon traverse le granite, celui-ci, même au contact du quartz, paraît parfois peu altéré, et les feldspaths ont conservé leur éclat vitreux; ils sont pourtant en partie décomposés. La sérécite en beaux cristaux, souvent groupés en houppes ou sphérolites, s'est formée à leurs dépens en les corrodant peu à peu. Les restes en sont limpides; c'est un début de transformation en greisen secondaire,

3° On rencontre parfois l'orthose fraîche aux salbandes des filons dans le greisen.

4° Lorsque les filons verticaux ne sont pas remplis de roche broyée (prouvant bien la parfaite solidité du granite lors de leur production), ils présentent tout à fait le même aspect que les filons couchés, le quartz minéralisé passe des uns aux autres et les points de croisement (souvent avec rejet des filons couchés) se font, paraît-il, fréquemment remarquer par leur richesse.

5° De grosses masses de greisen sont sans relation avec des filons nets.

Müller a émis l'idée qu'il y avait eu réouverture des filons couchés et que le remplissage de tous les filons, couchés et droits était de la même époque. Cette hypothèse permettrait d'expliquer les faits signalés ci-dessus ⁽¹⁾, le remplissage postérieur à la parfaite solidification et au refroidissement de la roche se serait effectué par l'intervention des eaux thermales (ou de gaz riches en vapeur d'eau). Ce serait le mouvement qui a donné naissance aux filons droits, qui aurait ouvert les fissures horizontales et les auraient prolongées dans le porphyre voisin, ce qui est peu explicable pour des fissures de retrait. La venue de l'oxyde d'étain s'est d'ailleurs prolongée pendant longtemps. Il en existe, bien qu'en faible quantité, dans le greisen ⁽²⁾. Dans les filons il est plus abondant, et c'est à l'époque de leur remplissage que la venue stannifère était la plus intense; plus tard encore, la cassi-

⁽¹⁾ Elle me paraît devoir être prise en considération, mais n'ayant pu examiner que les déblais, je ne puis émettre une opinion ferme.

⁽²⁾ Les bandes de *zwitter noirâtre*, très pauvres d'ailleurs en étain, que l'on trouve dans le porphyre, au voisinage du massif, sont probablement contemporaines du greisen, elles sont en effet recoupées par des filons de granulite, donc antérieures à la parfaite solidification du granite.

térite a cristallisé dans les géodes et les fentes des individus antérieurs.

Geyer.

C'est 62^{km} O. S. O. d'Altenberg à 23^{km} Sud de Chemnitz que se trouve une autre région de stannifère. C'est là qu'apparaissent au milieu des schistes des îlots granitiques qui les ont métamorphisés. Le plus petit qui est situé contre et à l'est de Geyer, est sillonné de filonnets riches en étain, il a été le siège d'anciennes exploitations, dont l'effondrement a donné naissance à un Binge qui fournit des coupes fraîches de la roche.

Le dôme granitique affleure à peine et tous les auteurs décrivent la zone à grand cristaux ou *stockscheider* riche en orthose qui, au contact des schistes, le recouvre, et dont la formation paraît contemporaine de la mise en place et comparable aux filons de pegmatite d'autres massifs (¹). On trouve aussi des fragments anguleux de schistes emballés par le magma granitique.

Tout le massif est sillonné par des veines riches en cassitérite se recoupant les unes les autres, et une faille importante aux parois de laquelle la roche est décomposée jusqu'aux plus profonds des points atteints le traverse, elle est très postérieure aux autres fractures (²).

(¹) Les masses feldspathiques présentent souvent de petits filonnets blanchâtres; leur remplissage est formé de quartz et albite en petits cristaux. Elles étaient donc solidifiées comme une croûte autour de la masse principale encore partiellement fluide.

(²) Le granite est, en outre, traversé par une large veine de roche à grain fin, antérieure aux filons. C'est une microgranulite pauvre en phénocristaux (quartz et orthose plus ou moins imprégnée d'albite). La topaze en grains irréguliers et le mica en toutes petites paillettes sont fréquents dans la pâte,

Un échantillon ⁽¹⁾ prélevé le plus loin possible de toute veine minéralisée paraît frais, il est très solide et à grain assez fin (maximum 2^{mm}). C'est un granite rose riche en feldspath, pauvre en mica et dans lequel on observe localement quelques rares petits amas de fluorine violette. La structure est nettement grenue.

Le *quartz* en grains assez volumineux (2^{mm}) sans contours nets, contient des inclusions à libelle peu abondantes et peu volumineuses souvent en traînées. Il garde la trace de violents efforts : extinction roulante ou légèrement en mosaïque et déformation de l'édifice cristallin (biaxe). L'*orthose*, contemporaine du quartz, c'est-à-dire cristallisée à la fin de la solidification du granite, est abondante sans forme géométrique, nettement altérée et piquetée de noir sans formation de produits micacés. Elle contient souvent de l'albite finement maclée, de même orientation et disséminée dans la masse, que je considère comme secondaire. Les *plagioclases*, également un peu troubles en lumière naturelle, mais sans trace de séricite, sont en petits cristaux très aplatis, suivant g^1 (0^{mm},6 sur 0^{mm},2 atteignant 1^{mm} sur 0^{mm},3). On reconnaît qu'ils appartiennent à l'albite, ils sont moulés par les autres éléments, mais leurs faces g^1 sont seules bien nettes, des macles interrompues et des cristaux déformés témoignent des efforts subis par la roche. Le *mica* est très peu abondant (n_g marron verdâtre pâle, n_p presque incolore); il se présente en cristaux dentelliformes moulés par l'orthose, son faible angle d'axes fait penser qu'il doit être voisin de la zinnwaldite. La *topaze* est assez fréquente en grains à contour déchiqueté ou dentelliformes dans l'orthose ou entre les autres éléments; elle moule alors l'albite.

(¹) Pour la description pétrographique détaillée de la roche et de ses variétés, voir la Notice explicative de la Carte géologique détaillée du royaume de Saxe. Section Geyer,

Les inclusions liquides y sont constantes. Ça et là quelques amas jaune verdâtre en lumière naturelle formés de cristaux souvent groupés en sphérolites très peu biréfringents, mais plus réfringents que le quartz, sont à rapporter à une *chlorite*; ils contiennent fréquemment de très fines aiguilles noirâtres enchevêtrées et de petits cristaux de *fluorine*. Exceptionnellement on rencontre des grains irréguliers de *cassitérite*, postérieurs à l'albite et sans doute contemporains de la topaze.

C'est ce granite dont la description ci-dessus ne représente peut-être qu'un aspect déjà un peu modifié, ainsi que semblerait l'indiquer, les déformations mécaniques subies par certains de ses éléments et la présence de la chlorite et de la fluorine, qui contient les veines stannifères, qui se distinguent les unes des autres par la diversité de leur remplissage ⁽¹⁾.

Dans le cas le plus général, aux épontes d'une veine, le granite rose est devenu gris et les feldspaths semblent avoir disparu; lorsque la veine est très mince on ne voit plus guère qu'une bande noirâtre rappelant le zwitter d'Altenberg. Ces parties noires sont moins différentes qu'on ne pourrait le croire tout d'abord des parties roses. Le *mica* (n_g jaune brunâtre ou verdâtre très pâle, n_p incolore) est devenu beaucoup plus abondant, il présente des auréoles polychroïques très nettes (n_g brun verdâtre) et son écartement d'axes est très faible. Les *feldspaths* ont en grande partie disparu, quelques cristaux d'orthose paraissent remplacés par des amas chloriteux, des débris d'albite subsistent presque parfaitement frais, mais c'est le quartz qui est de beaucoup le minéral le plus abondant.

Le granite rose au voisinage de la partie grise a souvent ses feldspaths plus altérés qu'un peu plus loin; ils sont plus troubles en lumière naturelle, mais cette altération n'est pas

(1) On y a distingué 19 systèmes.

contemporaine de la formation de la fissure, sous l'influence de laquelle il y a eu simple résorption de ces minéraux.

Un filon de 3^{cm} environ de puissance se décompose ainsi :

1° Suivant l'axe, remplissage riche en mica et quartz, contenant quelques cristaux bien formés de SnO^2 (éléments de 1^{mm} à 3^{mm}) ;

2° Bandes latérales de coloration plus claire, très pauvres en mica et à grain plus fin, peu de SnO^2 en tous petits grains (0^{mm},5 au maximum) ;

3° Parties riches en petits grains de cassitérite ;

4° Granite rose intact contenant encore des grains de SnO^2 .

Dans la zone 3, le quartz très abondant en cristaux relativement volumineux (0^{mm},2) moule tous les autres éléments ; ses extinctions sont légèrement onduleuses, on y reconnaît des inclusions liquides à libelle en traînées irrégulières peu nombreuses et de petite taille ; il contient en outre des débris d'albite dont les petits cristaux sont réduits à leurs extrémités réunies par un mince liséré. La topaze et la cassitérite sont les deux minéraux les mieux représentés après le quartz, ils paraissent à peu près contemporains, la topaze étant toutefois souvent moulée par l'oxyde d'étain. Tous deux sont postérieurs à l'albite en petits cristaux allongés (*voir* description de la roche intacte) Ces derniers, moulés et corrodés par la cassitérite, sont demeurés parfaitement limpides.

En se rapprochant du granite rose l'orthose apparaît, elle est généralement plus piquetée que l'albite voisine ; plus loin encore, dans la roche non modifiée, l'albite paraît moins fraîche que dans le filon : c'est que son altération ne s'est pas produite sous l'influence des agents chimiques qui accompagnaient la cassitérite et que, dans la partie grise, ses débris moulés par le quartz et la topaze ont été soustraits aux atteintes des eaux qui ont plus tard circulé dans la roche.

Les préparations taillées dans la zone 3 ne présentent que de très rares et très petits cristaux de mica et quelques amas chloriteux identiques à ceux signalés dans la roche intacte.

Un tout autre type de filon est également riche en quartz, alors en gros cristaux (1^{cm}) à éclat gras enchevêtrés de telle sorte qu'on peut le qualifier de quartz compact. C'est au milieu de ce quartz qu'on trouve, parfois en abondance la cassitérite. Ces filons se distinguent des précédents :

1° Par la présence d'un arséniure de fer généralement plus abondant que la cassitérite ;

2° Par l'aspect et la disposition du quartz ;

3° Par l'absence de mica suivant l'axe ;

4° Par la concentration des minerais au voisinage de l'axe et non des épontes comme dans le cas précédent ;

5° Par la complète altération des éléments feldspathiques qui ont pu être englobés dans le filon ;

6° Par l'absence de la topaze dans le remplissage ;

7° Par le broyage accentué et l'altération de la roche au voisinage de la fracture.

Des préparations taillées au voisinage immédiat du filon, tantôt ne diffèrent guère de celles qui ont été faites dans des échantillons qui en étaient éloignés de quelques centimètres, et alors le granite est rose jusque contre le quartz du filon, tantôt paraissent avoir subi une modification comparable à celle qui a été décrite ci-dessus. Là encore il s'est formé une grande quantité de quartz, de la topaze en plus gros cristaux et du mica ; il n'y a pas de cassitérite mais quelques cristaux, d'arséniure de fer, et les feldspaths sont en grande partie corrodés et dissouts. La différence vient de ce que les quartz ont des extinctions fortement roulantes et que les restes feldspathiques sont plus abondants et (sauf ceux englobés par le quartz) notablement altérés. Lorsque la roche était

restée rose jusqu'au filon, elle est assez fortement broyée; ainsi que d'habitude l'albite a plus souffert que l'orthose, là où se trouvaient plusieurs cristaux voisins il n'y a plus qu'un amas grenu, trouble en lumière naturelle au milieu duquel s'est souvent développé un peu de fluorine.

Il y a eu formation d'une fracture par action mécanique dans la roche bien solidifiée (¹). Au début une modification des épontes comparable à celle décrite page 172 a pu se produire, mais les efforts continuant, la roche a été broyée, le filon ouvert et rempli ensuite par le quartz et les minerais signalés.

Le troisième type, très voisin du premier est celui qui est représenté par ces fines veinules noires micacées, ou ces bandes sombres qui tranchent si nettement au milieu de la roche rose. Sans les décrire en détail je me contenterai de signaler que les parties grises se distinguent par :

Abondance du quartz et de la topaze en grains fins. Présence du mica en cristaux plus gros et plus nombreux que dans la roche intacte. Disparition de l'orthose. Résorption partielle de l'albite dont les cristaux subsistant sont parfaitement frais.

Le feldspath de la roche grise (peu perméable), pourtant modifiée avec production de topaze, est généralement plus frais que celui de la roche rose voisine.

Très souvent les parties grises contiennent un minerai opaque affectant dans les plaques l'aspect de cristaux aciculaires et provoquant dans les micas la formation d'auréoles polychroïques intenses (wolfram ou molybdénite); on y peut aussi rencontrer cassitérite et arsénure de fer.

Lorsqu'au lieu d'une bande grise un peu puissante on n'a qu'une fine veinule, celle-ci est essentiellement remplie de quartz; au voisinage des épontes le mica, la topaze et le

(¹) Certains de ces filons passent sans déviation dans les schistes.

minéral en aiguilles sont plus fréquents. La modification subie par la roche est alors peu étendue.

Enfin on rencontre encore des filons qui contiennent en abondance quartz et triplite, la roche est très modifiée (grise) aux épontes. Lorsque le quartz manque, la triplite est accompagnée d'un mica verdâtre uniaxe négatif en cristaux très nets.

Conclusions.

Dans ces gisements on voit donc d'une façon générale le rôle important joué par les fumerolles fluorées (zinnwaldite et topaze) à une époque voisine de celle de la consolidation des massifs granitiques avec faible minéralisation généralisée dans les roches spéciales ou modifiées. On a toutefois la preuve que des fissures d'origine dynamique se sont produites plus tard avec plus forte venue d'étain, arrivée des sulfo-arséniures et remplissage souvent quartzeux. Dans les bandes de zwitter, les feldspaths sont remplacés par mica et topaze, ailleurs ils peuvent être résorbés partiellement par la topaze et la cassitérite, mais les débris en sont frais. Ils ont été dissous, mais ne sont pas altérés et nulle part on ne voit trace d'une véritable kaolinisation d'origine profonde.

II. — CORNOUAILLES.

Les mines d'étain sont très nombreuses dans le Cornwall et le Devon à la périphérie des massifs granitiques, aussi ne parlerai-je ici que de quelques-unes d'entre elles, sans avoir nullement l'intention d'en faire une étude générale ⁽¹⁾. Les exemples cités ci-dessous ont été choisis comme permettant de suivre les transformations progressives subies par les gra-

(¹) Pour la géologie générale de la région, voir le résumé donné par MM. Fuchs et de Launay, *Traité des gîtes minéraux et métallifères*, t. II, p. 113. On y trouvera aussi l'étude sommaire de plusieurs gisements.

nites, de montrer quelles sont celles qui semblent avoir été contemporaines de la formation de la tourmaline, et de déterminer autant que possible l'âge relatif de la cassitérite, de la tourmaline et du kaolin.

Environs de Saint-Day.

Description du granite. — La roche normale de Saint-Day est un granite à tourmaline. Le *quartz* en grains de $0^m,002$ à $0^m,005$ à éclat gras et extinction légèrement onduleuse, contient des inclusions liquides peu nombreuses et de très petite taille entraînées irrégulières et moule tous les autres éléments.

Le *microcline* est en grands cristaux présentant la macle de Carlsbad, généralement aplatis suivant g^1 (la macle du microcline n'est pas visible). Les sections g^1 ont généralement $0^m,5$ à 1^m mais peuvent atteindre 2^m de diamètre. Ces feldspaths sont toujours notablement altérés, les facules d'albite y sont parfois extrêmement nombreuses et en outre certains d'entre eux sont envahis par de l'albite de nouvelle formation en petits cristaux finement macclés orientés parallèlement à leur hôte.

Ces grands cristaux de microcline sont abondants, ils englobent de petits individus de tous les autres minéraux, y compris de petits cristaux bipyramidés de quartz. Il faut en conclure que la structure de la roche est presque granulitique.

Les cristaux de plagioclase sont beaucoup plus petits et beaucoup moins abondants que ceux de microcline, leurs propriétés optiques permettent de caractériser l'albite presque pure, mais contenant toutefois une légère quantité d'oligoclase. Ils sont moulés par le quartz et le microcline ; au contact de ce dernier on remarque souvent l'existence d'une croûte à contour déchiqueté ne s'éteignant pas en même temps que le reste du cristal, et moins réfringente ainsi que plus biréfrin-

gente. Elle est constituée par un plagioclase se rapprochant encore plus de l'albite, et s'est formée, soit en même temps que le microcline, soit plus probablement après la cristallisation de ce dernier; elle est comparable aux bourgeons à quartz vermiculé et aux croûtes signalées dans le type profond de la Villeder. Les plagioclases sont généralement altérés, troubles en lumière naturelle et la séricite y est abondante; l'altération est toujours plus forte dans la partie centrale (la plus calcique) à laquelle elle est souvent localisée.

La *biotite* peu abondante, est en cristaux de petite taille présentant de très belles auréoles polychroïques autour de petits prismes de zircon. La *muscovite* est rare, la *tourmaline* assez abondante, en petits prismes moulés par les autres éléments. En lame mince elle donne comme coloration : n_g brun jaune, n_p presque incolore; vue perpendiculairement à l'axe ternaire elle paraît zonée, le centre des cristaux étant plus pâle; autour d'inclusions (zircon ?) on voit de belles auréoles polychroïques : n_g vert un peu jaunâtre, n_p presque incolore.

On rencontre encore l'*apatite* en petit prismes atteignant un diamètre de 0^{mm},25, et la *cassitérite* en très rares petits grains de 0^{mm},1 de diamètre, ces deux minéraux sont inclus dans les feldspaths.

L'altération d'origine atmosphérique de cette roche n'offrant rien de spécial, passons immédiatement à l'action des filons. Ils sont de trois sortes :

Les filons. — 1° Quartzeux avec un peu de chlorite, sans modification manifeste aux épontes. Ils sont peu nombreux et paraissent accidentels.

2° Chloriteux. La modification aux épontes est très nette. A 0^m,10 de l'éponte on voit la roche changer de teinte progressivement. Les feldspaths (microcline) deviennent roses et la chlorite apparaît. Celle-ci augmente à mesure qu'on se

rapproche du filon jusqu'à former une masse homogène où l'on ne reconnaît plus que le quartz et la tourmaline de la roche primitive.

3° Chloriteux avec une proportion parfois considérable de fluorine blanche ou vert pâle. Les modifications aux éponges sont les mêmes que dans le deuxième cas.

Sur une plaque prise à une dizaine de centimètres d'un filon chloriteux, on voit que la roche est très altérée et la transformation subie est très comparable à celle qu'aurait produite une altération d'origine atmosphérique : la *biotite* a disparu et a été remplacée par un mélange de *muscovite* et de *chlorite* ; et l'on ne trouve plus de trace de *plagioclase*, les paillettes de *séricite* ont envahi tous ses cristaux ainsi que les facules qui parcourent le *microcline*. Ce dernier est plus altéré et plus trouble que dans la roche qui n'a pas subi l'action des filons, mais on n'y voit pas d'autre *séricite* que celle qui remplace les filonnets d'albite disparus. L'*apatite* et la *tourmaline* ont subsisté et l'on voit parfois apparaître un peu de *fluorine* au milieu de la *séricite* qui remplace le *plagioclase*. On peut aussi caractériser quelques très petits et très rares grains de *cassitérite*, mais on ne peut établir s'ils sont de nouvelle formation.

Plus près du filon une *chlorite* verte bien cristallisée (voisine de la *délessite* mais moins biréfringente), à allongement positif, nettement polychroïque, facilement attaquable par l'eau régale et riche en fer, remplace une partie de la *séricite* ; plus près encore la *chlorite* en lamelles bien formées et souvent assemblées en spherolites, commence à apparaître dans les feldspaths potassiques qui sont devenus franchement roses, par suite de la présence de traces d'oxyde de fer dans leurs clivages, et tranchent sur le fond vert de la roche. Très près du filon la *délessite* se substitue complètement à la *séricite* qui remplaçait le *plagioclase* et prend naissance directement dans le *microcline*, de telle sorte

qu'il ne subsiste plus au milieu d'elle que la *tourmaline*, l'*apatite*, et parfois un peu de *fluorine* (de nouvelle formation). Cette dernière, souvent en petite quantité dans le filon lui-même, peut s'y trouver en masse et l'on passe ainsi aux filons du type 3 entièrement comparables à ceux du type 2.

Il ne faut pas confondre avec les filons, des fissures de la granulite qui s'ouvrent sous le marteau et dont les parois sont enduites de très petits cristaux de fluorine violette. La roche qui constitue ces parois n'a subi aucune modification, tout au plus peut-on noter une altération un peu plus forte des plagioclases par suite de l'accès facile que la fissure donnait à l'eau.

Les auréoles polychroïques produites autour d'inclusions de cristaux incolores et très réfringents, sans doute de *zircon*, peuvent appartenir à plusieurs cristaux de chlorite à la fois. Ceux-ci étant petits et enchevêtrés il en résulte qu'en tournant la préparation examinée en lumière polarisée sans analyseur, la teinte paraît ne pas changer ; mais si l'on observe avec un fort grossissement, on s'aperçoit que les différentes parties de l'auréole varient d'intensité avec l'orientation des lamelles qui les constituent. Les teintes de pléochroïsme sont : n_g brun marron presque noir, n_p jaune brun pâle.

On constate donc au voisinage du filon que la roche des épontes est généralement profondément altérée avec décomposition des feldspaths et perte d'alcalis, mais il y a eu apport de fer et la transformation ne peut être attribuée seulement à l'action des eaux d'origine superficielle.

Carn Brea.

Le granite. — La roche intacte de Carn Brea entre Camborn et Redruth ressemble beaucoup à celle de Saint-Day. Il n'y a

à cela rien d'étonnant, ces deux points étant voisins l'un de l'autre. Toutefois celle de Carn Brea se distingue par la faible proportion des plagioclases et par la présence de muscovite en cristaux qui se clivent en donnant des lamelles courbes et épaisses toujours très brillantes.

Son état d'altération est aussi très comparable à celui du granite de Saint-Day, le feldspath potassique (*microcline* avec facules d'albite) est irrégulièrement taché de noir en lumière naturelle mais peu altéré, le plagioclase (*oligoclase-albite*) est fortement atteint par la transformation en séricite. La *biotite* est assez abondante et fraîche (avec inclusions de *zircon* et auréoles polychroïques); lorsqu'elle se décompose elle verdit et l'on y reconnaît le *rutile* (*sagénite*). La *tourmaline* est rare, et l'*apatite* fréquente; elle se rencontre surtout au voisinage des cristaux de mica.

La roche présente les traces d'un broyage accentué, quelques feldspaths sont brisés; mais comme toujours c'est le *quartz* qui en a subi le plus fortement les effets, tous ses cristaux ont une extinction roulante, certains d'entre eux sont remplacés par un agrégat de petits grains anguleux. Enfin il importe de signaler quelques rares grains de *cassitérite* primaire, ils se trouvent généralement au voisinage des micas noirs, moulés soit par eux soit par les feldspaths voisins.

Les filons. — Les efforts subis par les culots granitiques de la région sont rendus évidents par l'existence de ces grandes fractures qui, localement riches, sont le but principal de l'exploitation ⁽¹⁾. Aux épontes des filonnets accessoires, la roche présente des zones de broyage visibles seulement au microscope mais indicustables, tandis que

⁽¹⁾ Le système de cassures est complexe et toutes ne sont pas de même âge; cela est un point depuis longtemps reconnu par les ingénieurs.

l'examen d'un échantillon à la main laisse reconnaître que les grands cristaux d'orthose, devenus roses, sont sillonnés de fines lignes verdâtres correspondant à des fissures tapissées de chlorite.

L'étude de la modification du granite aux épontes des grands filons n'est guère possible par suite de la difficulté qu'on éprouve à recueillir des échantillons convenablement sériés, et souvent aussi de l'état d'altération des épontes par circulation d'eaux venues de la surface. Il est généralement plus commode de s'adresser à des filons secondaires aux épontes desquels les modifications peuvent être étudiées sur un plus petit espace. Les filonnets contenus dans la roche sont les uns quartzeux, les autres sont à la fois quartzeux et chloriteux, d'autres encore tourmalinifères. Il est inutile de répéter des descriptions qui se rapprocheraient beaucoup de celles antérieurement faites. Je me contenterai de faire remarquer que ces filonnets, même ceux de quartz, ne sont pas nettement limités à leurs épontes. Il y a eu un broyage de la roche sous l'influence d'une poussée énergique, mais au lieu de se briser nettement comme à la Villeder, il s'est produit des fissures irrégulières, il y a eu désagrégation des parois et décollement des grands cristaux, de telle sorte que le quartz de remplissage s'est insinué partout. Toujours le *microcline* au voisinage des filons devient noir ou marron en lumière naturelle et se dissout légèrement à la périphérie. Il se remplit d'un produit amorphe ferrugineux sans pour cela s'altérer profondément et sans notamment que ses clivages perdent leur éclat vitreux. Toujours aussi la *biotite* verdit pendant que le *rutile* et l'*anatase* secondaires y cristallisent en abondance. Le sort des *plagioclases* est beaucoup plus difficile à déterminer ; c'est à peine si quelquefois des amas de séricite ont conservé leurs formes, dans la plupart des cas, le quartz et la séricite en ont fait disparaître toutes traces.

Aussi n'en est-il que plus étonnant de constater que parfois très près du filon le plagioclase est moins altéré que le microcline ; il est alors souvent corrodé par le quartz filonien, mais ses restes sont limpides. On peut observer que toutes les fois qu'il en est ainsi le filonnet voisin ne contient pas de chlorite, il est uniquement quarzeux ou tourmalinifère. Le phénomène est très net pour des veines de quartz, aux épontes desquelles s'observe une couche de microcline. Ce feldspath est assez altéré en un produit amorphe, noir en lumière naturelle et en partie épigénisé par l'albite transparente ; les petits cristaux d'albite sont plus ou moins dissous par le quartz ⁽¹⁾ ou remplacés par la muscovite en grands cristaux, mais les restes en sont parfaitement limpides. En choisissant avec soin des échantillons en profondeur au voisinage des grands filons (mine de Dolcoath) on peut d'ailleurs faire une observation comparable. Très près du filon l'altération est généralement intense, mais il faut remarquer que la roche présente les traces d'un fort broyage et que les modifications subies sont très comparables à celles qu'auraient provoquées une circulation d'eau venant de la surface (séricite, altération plus forte des plagioclases, etc.). Sur un échantillon moins altéré on reconnaît très bien le granite de Carn Brea, qui a pris une teinte rose ; l'albitisation de l'orthose est nette et assez forte, l'albite n'étant pas remplie de séricite comme plus loin des filons, la biotite est verdie, et de la chlorite (postérieure à l'albitisation) commence à envahir les feldspaths. On remarque, en outre, quelques grains de cassitérite (comme dans la roche normale) sans doute primaires. Les zones de broyage sont très accentuées.

(1) C'est ce quartz qui les a protégés contre une altération postérieure.

Région Camborn-Redruth. Mines de Basset et Dolcoath.

Les filons qu'on exploite dans les mines de la région de Combarn-Redruth sont trop puissants et trop continus pour pouvoir être attribués au retrait et sont de toute évidence dus à un des nombreux mouvements du sol dont cette région a été le théâtre, il importe de remarquer en outre que l'oxyde d'étain n'a pas en général été l'un des premiers éléments déposés ⁽¹⁾. Le remplissage proprement dit varie suivant les points, et la cassitérite loin d'y être régulièrement disséminée est parfois très abondante tandis qu'ailleurs elle manque complètement.

Les trois minéraux qui entrent dans la composition de ce remplissage sont : le *quartz*, la *cassitérite* et la *tourmaline* parfois remplacée par la *muscovite*. Il y a eu des broyages et des réouvertures successives ⁽²⁾; ainsi un remplissage stérile se compose souvent de grains de quartz irréguliers, serrés les uns contre les autres avec quelques beaux cristaux de muscovite et de nombreuses paillettes de séricite, de telle sorte qu'on peut penser avoir affaire à des débris de granite tombés dans le filon et très transformés. La masse ainsi constituée est traversée de fissures remplies d'un produit terne d'un vert bleuâtre formé d'une multitude de petites aiguilles de tourmaline enchevêtrées les unes dans les autres, le tout étant enfin sillonné de veinules de quartz stérile.

Ailleurs le broyage de la masse ayant été plus énergique, le quartz primitif (auquel s'est joint peut-être déjà du quartz

(1) Voir les nombreux travaux de M. Le Neve Foster.

(2) Les descriptions qui suivent s'appliquent à des examens en plaques minces, le remplissage filonien se présentant à l'œil nu comme une roche variant du gris au bleu foncé, parfois veinée de quartz, dont la densité indique la richesse, mais où le minerai n'est visible qu'à la loupe.

secondaire) est brisé et ses morceaux généralement très petits sont englobés dans une pâte de tourmaline verte, à éléments si fins qu'elle paraît compacte ; elle reste sombre entre nicols croisés, sauf aux points où un cristal plus volumineux occupe à peu près toute l'épaisseur de la préparation.

Dans certains cas, le quartz plus abondant forme la presque totalité du remplissage, mais il est toujours fortement écrasé. Les cristaux s'éteignent en mosaïque et la masse est traversée en tous sens, de zones de broyage suivant lesquelles on ne rencontre plus que des grains de petite taille. La tourmaline est alors peu abondante et en cristaux un peu plus volumineux que dans l'exemple précédent ⁽¹⁾. L'ensemble formé par le quartz broyé et la tourmaline compacte a été de nouveau fendu et dans les fissures ainsi produites a cristallisé un quartz, généralement moins riche en inclusions liquides que le premier formé, et contenant quelques petites aiguilles de tourmaline (0^{mm},04 sur 0^{mm},002) bien individualisées. Ce même quartz avec tourmaline a rempli, non seulement les fissures, mais les vides qui existaient dans le remplissage de tourmaline compacte. Dans les veinules les plus larges (0^{mm},5 à 10^{mm}), la tourmaline disparaît complètement, dans les plus minces au contraire elle s'observe presque toujours. Les veinules, mêmes minces (0^{mm},6) sont faciles à suivre au moins dans le cas du premier remplissage, riche en tourmaline compacte, car en lumière naturelle, elles tranchent sur le fond coloré de la préparation ; mais, en lumière polarisée elles sont souvent difficiles à distinguer, car le quartz en petits cristaux qui les constitue, ressemble à celui qui est fréquent au milieu de la tourmaline, et lorsqu'elles

(¹) Parfois de la tourmaline brune contemporaine du quartz du premier remplissage a, comme lui, été broyée et ses débris sont noyés dans la tourmaline secondaire en aiguilles bleues.

traversent un grain un peu volumineux de quartz ancien, leur remplissage a pris l'orientation du cristal brisé qui a été en quelque sorte reconstitué. Néanmoins, même dans ce cas, il suffit de supprimer l'analyseur pour que les propriétés du quartz nouveau (limpidité plus grande) permettent de suivre le trajet de la veinule.

Lorsqu'on a affaire à des échantillons minéralisés, la cassitérite y est souvent mélangée à la tourmaline, mais on s'aperçoit alors, généralement, qu'elle est postérieure à la plus grande partie de cette dernière. Elle est toujours accompagnée de quartz qui la moule et dont elle est contemporaine. Tantôt elle est en grains, sans formes nettes, intimement unis au quartz et à la tourmaline bleue en aiguilles; la masse ainsi formée n'est pas homogène, par endroits, la cassitérite ou le quartz sont beaucoup plus abondants que les autres éléments, et là où ce dernier forme de petites plages, il contient des amas de formes irrégulières d'oxyde de fer présentant eux-mêmes de nombreuses inclusions de petites lamelles micacées, grossièrement parallèles entre elles, mais enchevêtrées de telle sorte que leur extinction n'est pas nette. Ailleurs le remplissage formé comme ci-dessus a été brisé; il est sillonné de petites veinules de quartz contenant quelques rares aiguilles de tourmaline. C'est contre les épontes de ces filonnets de quartz que se trouvent les plus beaux cristaux de cassitérite. Mais, il est des cas où la postériorité de l'oxyde d'étain est plus nette encore, et où l'on peut, par exemple, se rendre compte qu'un premier remplissage de tourmaline bleue compacte, peu biréfringent par suite de la très petite taille des cristaux et des superpositions multiples résultant de leur enchevêtrement, entourant des débris quartzeux, a été brisé et recimenté par la cassitérite qui semble aussi l'avoir pénétré, car certains de ses cristaux se sont développés au sein même de l'agrégat de tourmaline.

Des fissures traversent le tout, le quartz et la cassitérite, cette dernière en cristaux à formes nettes et les remplissant parfois complètement, s'y trouvent réunis. Il arrive enfin que la tourmaline disparaisse presque complètement, l'oxyde d'étain est moulé par le quartz qui contient de l'oxyde de fer en amas irréguliers. Des échantillons très riches contiennent en outre une notable proportion de fluorine. Les veinules qui traversent le minerai sont formées par le quartz avec quelques rares aiguilles de tourmaline.

On ne peut donc nier que la cassitérite ne soit dans ces grands filons mélangés à la tourmaline, mais il ne faut pas oublier :

1° Que tous les remplissages de ces filons manifestent un broyage souvent accentué et des réouvertures multiples;

2° La cassitérite se trouve souvent avec la tourmaline, mais pas forcément; elle est toujours associée au quartz;

3° La cassitérite est postérieure à la majeure partie de la tourmaline.

Le remplissage des filons semblent s'être effectué de la façon suivante :

1° Transformation de la roche des épontes, formation aux dépens des feldspaths, soit de séricite, soit de tourmaline; fréquemment, un peu de quartz de nouvelle formation s'ajoute à celui de la roche;

2° Broyage énergique: les débris de quartz (et de tourmaline primaire, lorsqu'il y en a) sont cimentés par la tourmaline bleue compacte. L'oxyde d'étain commence peut-être à se déposer mais en faible quantité;

3° Broyage: les débris du remplissage tourmalinifère précédemment formé sont cimentés par le quartz contenant des aiguilles de tourmaline bleue; la cassitérite se dépose souvent en grande quantité dans les fissures et les vides

produits. Elle est localement très abondante, ses cristaux et ceux de quartz peuvent alors être cimentés par la fluorine, dernier minéral cristallisé;

4° Nouvelle fissuration: il ne se produit que de fines veinules remplies par le quartz contenant encore quelques aiguilles de tourmaline, la cassitérite y est rare.

Environs de Saint-Yves.

Description du granite. — Le granite de Saint-Yves est frais, la teinte générale en est gris clair, mais la coloration est irrégulière par suite de la grande taille de certains éléments et de la disposition en amas des minéraux colorés. La structure est grenue à grain assez gros de 5^{mm} à 15^{mm} environ, et au milieu de la masse ainsi formée se trouvent de grands cristaux d'*orthose* maclés suivant la loi de Carlsbad; ils atteignent souvent 5^{cm} parallèlement à l'axe vertical, 3^{cm} parallèlement à pg^1 et 2^{cm} perpendiculairement à g^1 , face toujours bien développée et selon laquelle ils sont aplatis.

Le *quartz* a un éclat gras, l'extinction en est légèrement roulante, il contient d'assez nombreuses inclusions liquides en traînées irrégulières, ou distribuées d'une façon quelconque atteignant fréquemment 0^{mm},03 sur 0^{mm},01 des cristaux de mica, de plagioclase et de très rares petits prismes bipyramidés de zircon. Le quartz a cristallisé le dernier.

L'*orthose* en grands cristaux peut contenir les autres éléments sauf le quartz, le *mica noir* y est fréquemment inclus, mais en petite quantité, l'*albite* en facule y est abondante. Les cristaux d'*orthose* ont des formes nettes mais ne sont moulés que par le quartz qui parfois les corrode; ils sont légèrement altérés.

Les cristaux de *plagioclase* toujours de beaucoup plus petite taille que ceux d'*orthose* (au maximum 5^{mm} de plus grande

dimension) ne sont que localement abondants; leur teinte grise et leur éclat gras permettent de les distinguer facilement; ils sont assez altérés, remplis de séricite (en lumière naturelle tous les feldspaths quels qu'ils soient sont également troubles et ne peuvent être distingués les uns des autres). Ces plagioclases ont des formes extérieures nettes, comparables à celles de l'orthose, ils s'éteignent perpendiculairement à la bissectrice aiguë positive sous un angle de 11° environ; les angles d'extinction dans la zone perpendiculaire à g^1 sont toujours petits de 3° à 5° ; on peut en conclure qu'on a affaire à une *oligoclase-albite* ⁽¹⁾.

Très souvent l'acidité du feldspath va en croissant très légèrement et très régulièrement vers la périphérie.

Tandis que lorsque l'oligoclase est voisine du quartz elle se termine par des faces régulières dont les traces sont des lignes droites, lorsqu'elle est accolée à une orthose, on voit qu'il s'est greffé sur la face originellement plane une croûte d'albite secondaire comme dans le granite de Saint-Day.

La *biotite* en beaux cristaux qui atteignent 5^{mm} est abondante, douée d'un pléochroïsme accentué, les auréoles autour d'inclusions de zircon sont nombreuses et intenses.

Le *mica blanc* primaire n'existe sans doute pas; on n'en rencontre en effet que quelques petits cristaux déchiquetés qui semblent s'être formés aux dépens des biotites ou des feldspaths. Ils présentent des auréoles polychriques (n_p incolore, n_m brun pâle, n_g brun noir), et leur écartement d'axe est d'environ 60° . La *séricite* est abondante mais seulement dans

(1) M. Heinrick Langerfeld, dans sa description du granite porphyrique de Halsetown, près Saint-Yves, donne cet angle ($10^{\circ}, 30'$) et conclut à l'oligoclase-andésine. [*Beiträge zur Kenntnis der strukturellen und mineralogischen Gesteine der Zinnerzlagertstätten in Cornwall.* (*Neues Jahrbuch für M. G. und P.* XXVIII, Beilage-Band, 1909).] Voir dans ce travail la description des diverses variétés du granite à Saint-Yves.

les plagioclases. Au voisinage des cristaux de mica blanc, on trouve souvent quelques lamelles de chlorite (pennine).

L'*apatite* est assez rare mais en beaux cristaux (prisme de 0^{mm},4 de diamètre). La *tourmaline noire* est fréquente sans être abondante, mais elle n'est pas nettement antérieure à tous les autres éléments, certains de ses cristaux moulent même des grains de quartz autour desquels elle forme une sorte de trame. Enfin il existe quelques cristaux de *pyrite de fer* en dodécaèdres pentagonaux (0^{mm},3).

La roche de Saint-Yves est donc un granite porphyroïde à biotite et tourmaline. L'ordre de cristallisation des éléments a été : zircon, apatite, biotite, tourmaline, oligoclase, orthose, quartz.

Altération du granite. — On peut recueillir la même roche complètement altérée sous l'influence des agents atmosphériques, à tel point qu'elle tombe en poudre sous la pression de la main. L'orthose se charge de produits noirâtres en lumière naturelle, mais sans devenir nullement opaque et en conservant ses propriétés; les plagioclases au contraire sont complètement envahis par la séricite, on reconnaît leurs formes mais il n'en existe plus trace; la biotite se change en mica blanc et pennine tandis que l'oxyde de fer se dépose dans les fissures, etc. C'est la transformation normale sur laquelle il est inutile d'insister.

Modification au contact des filons. — Le granite porphyroïde est parcouru de filons et au contact de ceux-ci la roche change d'aspect. Comme à Saint-Day le fond de la roche devient verdâtre, tandis que l'orthose prend une teinte brun rose, mais les minéraux nouvellement produits ne sont plus les mêmes :

Au *quartz* primitif s'est ajouté du quartz de nouvelle for-

mation, très riche en inclusions liquides à libelles de grande taille (jusqu'à $0^{\text{mm}},025$), et de formes souvent irrégulières. Il contient aussi de petits amas ou plus souvent des traînées formées de tout petits prismes de tourmaline (en moyenne $0^{\text{mm}},2$ sur $0^{\text{mm}},015$), n_p jaune verdâtre très pâle, n_g bleu vert intense. Ce quartz nouveau s'est produit aux dépens des feldspaths qu'il a partiellement digéré.

L'*orthose* est devenue parfaitement trouble et marron en lumière naturelle, mais la lumière polarisée montre que le minéral n'en conserve pas moins ses extinctions bien nettes : il est chargé de matière ferrugineuse amorphe, mais non détruit; ses clivages sont encore faciles et vitreux. Sur ses bords il est souvent partiellement résorbé par la tourmaline en petites aiguilles. Les *plagioclases* au contraire sont entièrement transformés, il n'en reste plus trace, mais seulement des amas de séricite qui ont conservé leur forme. Au milieu des lamelles de séricite on peut caractériser quelques petits cristaux de tourmaline.

La *biotite* a disparu, elle a été épigénisée par la tourmaline en fines aiguilles disposées parallèlement aux clivages, elle a parfois donné aussi naissance à un peu de mica blanc; les débris du minéral primitif sont chargés d'oxyde de fer et la biréfringence a beaucoup baissé.

Les filons. — Les filons eux-mêmes sont comparables à ceux de beaucoup plus grande taille qu'on exploite entre Redruth et Camborn (*voir* ci-dessus), il en existe d'ailleurs de puissants en profondeur. Le remplissage est essentiellement quartzeux, les cristaux de quartz à éclat gras ont des orientations quelconques, et tendent à se limiter par des faces nettes dont seule l'union intime des divers individus a empêché la production. Ils contiennent des inclusions liquides à libelle assez nombreuses atteignant $0^{\text{mm}},01$ et dans

lesquelles on reconnaît parfois quelques petits cristaux cubiques (NaCl), et de prismes fins de tourmaline identiques à ceux décrits ci-dessus dans la roche modifiée. Ces aiguilles deviennent parfois très abondantes, s'enchevêtrent en tous sens de façon à former des amas dans lesquels le quartz n'est plus du tout représenté.

Environs de Saint-Just.

Le massif granitique situé entre Penzance et Saint-Just présente de nombreux filons qui ont, au Sud-Est comme au Nord-Ouest et au Nord, donné lieu à d'importantes exploitations. La roche qui le constitue tout en restant à peu près constante n'en subit pas moins suivant les points, des variations de structure et de composition minéralogique; la tourmaline noire primaire s'y présente, par exemple, en proportion très variable.

A l'Ouest, aux environs de *Levant mine* (nord de Saint-Just), la roche est grenue, et se rapproche beaucoup par ses caractères extérieurs de celle de Saint-Day (p. 176). De même que pour cette dernière, le grain n'est pas uniforme et certains cristaux d'orthose plus développés (2^{cm} à 3^{cm} suivant *mm*) la rendent légèrement porphyroïde; les autres éléments sont un peu plus volumineux, surtout les cristaux de mica plus irrégulièrement distribués, et ceux de quartz, notablement plus abondants.

Description pétrographique du granite de *Levant mine*. — Je n'ai pu recueillir d'échantillon qui n'ait subi une légère altération d'origine filonienne et tous les feldspaths ont pris une teinte rose ou ocre.

Le *quartz* a des extinctions presque nettes, les inclusions liquides à libelle y sont nombreuses, distribuées sans ordre,

souvent de forme irrégulière et, assez volumineuses (0^{mm}, 05); d'autres, toutes petites, sont en traînées.

Les *feldspaths* sont tous altérés. Les uns roses à clivages faciles et vitreux sont de l'*orthose*; ils ne sont pas très altérés, bien que troubles en lumière naturelle, les facules d'albite y sont rares et peu développées. Ils ont cristallisé à la fin de la solidification du magma et moulent tous les autres éléments, sauf le quartz; leurs grands cristaux n'en ont pas moins une forme générale voisine de celle qu'ils auraient prise s'ils s'étaient librement développés, mais au contact des grandes plages de quartz il y a une pénétration mutuelle des deux minéraux, due, soit à leur cristallisation simultanée, soit plutôt à une résorption partielle de l'*orthose* par le quartz.

Les cristaux de plagioclases devenus d'un rouge brun, beaucoup plus petits, ont généralement un contour net et sont toujours très altérés et remplis de séricite. Cette décomposition avancée rend leur détermination difficile, les extinctions symétriques de la zone *ph¹* indiquent qu'on a affaire à une *oligoclase-albite* très voisine de l'albite vraie.

Il existait des cristaux de *biotite* généralement groupés, ils sont complètement transformés en *chlorite* dans laquelle a cristallisé le *rutile* secondaire en fines aiguilles. Les inclusions d'*anatase* en grains ou en traînées et de *zircon* (primaire) provoquant des auréoles polychroïques y sont fréquentes. La *muscovite* est rare, en cristaux très déchiquetés au voisinage de ceux de biotite, ou squelettiques inclus dans l'*orthose*.

Des cristaux de forme irrégulière et toujours fendillés de *topaze* s'observent çà et là contre ou entre ceux de biotite; ce minéral est certainement primaire et il ne s'en est pas produit aux dépens des feldspaths.

La *fluorine* est très peu répandue, on la rencontre (fluor-

rine violette) entre les cristaux de chlorite (anciens micas noirs), elle ne possède aucune forme nette, aussi peut-on la croire secondaire; hypothèse encore plus admissible pour les quelques petites plages irrégulières qui se rencontrent dans les feldspaths (plagioclases).

Quelques gros prismes ($0^{\text{mm}}, 3$) d'*apatite* sont inclus dans les feldspaths et plus souvent dans les micas. Il n'y a pas de tourmaline.

On a donc affaire à un granite un peu altéré, cette altération présentant tous les caractères d'une altération superficielle.

C'est dans cette région que de nombreux filons stannifères ayant été reconnus, prirent naissance des exploitations dont les anciens déblais couvrent de grands espaces et dont on voit de tous côtés les puits abandonnés. Deux mines importantes sont encore en marche: celle de Bottallack (1 mille nord de Saint-Just) et Levant mine (près de 2 milles dans la même direction). Cette dernière que j'ai pu visiter en détail, grâce à l'amabilité du directeur, M. Oats, exploite une série de filons parfois puissants de direction générale NO. Mais les travaux les plus importants sont effectués dans le killas (travaux sous-marins) et malgré la profondeur déjà atteinte, on a surtout affaire à la pyrite de cuivre. Le granite voisin est également travaillé, et c'est dans les déblais que l'on peut trouver des échantillons montrant les transformations au contact des filons.

Premier type de remplissage filonien. — Le granite décrit ci-dessus passe progressivement à un remplissage chloriteux, le passage est plus rapide, mais tout à fait comparable à celui qu'on observe à Saint-Day, et à la chlorite (*délessite*), s'ajoute parfois un peu de *tourmaline*. Le filon lui-même est essentiellement formé de chlorite avec un peu

de quartz et quelques débris d'orthose. Le mispickel et les pyrites de fer et de cuivre en grains très fins y sont mélangées parfois en quantité importante. Mais dans certains cas, lorsque le filon considéré atteint quelques centimètres de puissance, on n'y trouve presque plus de quartz; la masse est composée de chlorite vert foncé, presque noire et compacte, au milieu de laquelle tranchent quelques débris de feldspath orthose d'un rose sale. Ils ont un contour irrégulier, et la chlorite a souvent cristallisé tout autour en petites lamelles à clivage facile, disposées perpendiculairement à la surface de séparation. On reconnaît aussi la tourmaline en aiguilles d'un brun foncé ⁽¹⁾ peu abondante et la fluorine blanche ou violette. Celle-ci s'est incontestablement formée à l'intérieur de l'orthose; il est curieux de constater que la transformation de ces feldspaths en chlorite se fait progressivement par la périphérie, de telle sorte qu'ils paraissent se dissoudre peu à peu; c'est au contraire en plein cœur qu'apparaissent la tourmaline et surtout la fluorine. L'orthose se creuse et forme ainsi une sorte de géode où l'on reconnaît la fluorine souvent en cristaux nets, couverts d'oxyde de fer et laissant entre eux de faibles espaces vides. Un peu de quartz se joint exceptionnellement à la fluorine et enfin de tous petits cristaux de cassitérite se sont souvent déposés sur elle ⁽²⁾.

Il semble qu'il y ait eu avec le temps des changements

(1) Par endroits, la tourmaline en petites aiguilles bleues, noyée dans le quartz devient fréquente, le remplissage se rapproche alors de celui signalé page 190.

(2) Ce qui prouve bien la venue tardive de la cassitérite, c'est qu'on l'a rencontrée à Saint-Just, concrétionnée et moulant des cristaux de quartz préalablement formés; elle forme alors avec le quartz, le feldspath et la chlorite des zones concentriques rappelant celles qui sont communes dans les formations plombo-zincifères.

dans la nature des agents chimiques qui circulaient dans le filon. Sous l'influence des premiers, il y a eu production de chlorite avec un peu de fluorine et de tourmaline, il y avait élimination de silice et d'alcalis, apport de fer; les seconds ont donné de la fluorine qui a cristallisé en octaèdres le plus souvent incolores dans les débris d'orthose. Puis ce fut le tour de la cassitérite dont les petits cristaux à faces brillantes se sont déposés à la surface de ceux de fluorine, tandis que d'autres se faisaient une place au milieu de la chlorite avec pyrite et mispickel et remplissaient des fissures irrégulières grossièrement disposées suivant l'axe du filon.

Lors de la production de la chlorite, l'orthose se dissolvait simplement et lentement, elle s'est chargée d'oxydes ferrugineux, mais est restée résistante, sans s'altérer profondément; sous l'influence des agents qui produisaient la fluorine, il y avait destruction rapide du feldspath dont une portion pouvait pourtant parfois recristalliser. C'est ce que paraissent indiquer, au milieu de ces petits amas d'orthose épigénisés par la chlorite et la tourmaline, l'existence de cristaux parfaitement nets. Ils possèdent les faces p , m , a^1 , et sont fortement allongés suivant l'arête pa^1 . La face a^1 beaucoup plus développée que p qui est brillant est au contraire creusée de profondes cavités irrégulières. Certains cristaux sont extrêmement aplatis perpendiculairement à l'axe vertical avec p , très réduit, ils ont un aspect tabulaire ($m a^1$). La cassitérite en petits cristaux brun jaunâtre foncé recouvre ces cristaux d'orthose comme les octaèdres de fluorine et tapisse toutes les cavités.

Les débris de filon de cette nature que j'ai recueillis avaient de 6^{cm} à 8^{cm} de puissance, je ne sais si leur importance et leur teneur en minerai les rendaient exploitables.

Deuxième type. — Il existe aussi dans la même roche

d'autres filons dont la coloration est également le vert foncé, mais auxquels le passage se fait beaucoup moins progressivement. Ce n'est pourtant pas que la roche des épontes n'ait subi d'importantes modifications; la rubéfaction des feldspaths a été tout particulièrement intense, ils sont rouge brun jusqu'à une distance de 3^{cm} à 4^{cm} de part et d'autre du filon, et l'on remarque dans cette région un peu de *tourmaline*, de *chlorite* et de petites mouches de *pyrite de cuivre*.

Le filon lui-même est formé de *tourmaline* compacte; ce sont de fines aiguilles enchevêtrées et noyées dans le *quartz* ou réunies en amas, sans être soudées entre elles par ce dernier. On y reconnaît aussi quelques débris feldspathiques et quelques grains de quartz, montrant que ce filon est plutôt constitué par une bande de roche écrasée et profondément modifiée, que par le remplissage d'une fracture largement ouverte. On peut remarquer que l'axe du filon est chloriteux, la délessite étant donc postérieure à la tourmaline.

Une plaque taillée dans la roche au voisinage du filon permet de faire quelques constatations intéressantes. Contrairement à ce qui se produit plus loin, les plagioclases ne contiennent pas trace de séricite et bien qu'un peu troubles, en lumière naturelle, ne sont pas très altérés. Par contre le quartz les a partiellement digérés en formant à leur intérieur des golfes de corrosion. L'albitisation de la roche qui ne se manifeste nullement au voisinage des filons chloriteux ⁽¹⁾ a été ici considérable; l'orthose est remplie de plagioclase qui, orienté sur elle et distribué dans toute sa masse, arrive à l'épigéniser complètement. Tous les feldspaths contiennent quelques rares et très petits cristaux de tourmaline qui, devenant brusquement extrêmement nombreux, envahissent tout et l'on passe ainsi au filon. Ces feldspaths ne sont que

(1) Ou qui antérieure à la chloritisation n'est pas observable.

légèrement altérés alors même que la tourmaline secondaire y est abondante.

Il semble que la cause qui produit l'albitisation et celle qui donne naissance à la tourmaline soit la même, les débris d'orthose qui ont victorieusement résisté à l'albitisation résistent également à la tourmalinisation. La tourmaline ainsi produite est peu colorée $\left\{ \begin{array}{l} n_g \text{ gris bleu,} \\ n_p \text{ presque incolore} \end{array} \right.$ elle est pauvre en fer et riche en soude. Il y a donc eu venue sodique, dont la conséquence a été soit l'albitisation simple, soit la formation de tourmaline plus près du filon, là où réagissait l'acide fluorhydrique.

On rencontre aussi, soit dans le filon, soit dans la roche, de petits amas noirâtres; ce sont des produits ferrugineux et titanifères provenant sans doute de la biotite disparue, hypothèse d'autant plus probable que très souvent on peut dans leur voisinage caractériser quelques lamelles de chlorite qui ont sans doute aussi cette origine.

Troisième type. — D'autres échantillons de la même localité présentent une série de fissures parallèles entre elles et non ouvertes. La roche se brise suivant ces plans avec une facilité spéciale, et les parties ainsi séparées sont garnies d'une mince couche de *tourmaline* en aiguilles. Ces fissures sont généralement à 5^{cm} ou 6^{cm} les unes des autres, mais sont parfois beaucoup plus rapprochées, si bien qu'un même feldspath peut être brisé en trois parties.

Le microscope montre dans ces fissures la *tourmaline* (remarquablement zonée) de nouvelle formation; ses cristaux sont disposés en lits parallèles, coupant parfois les éléments primitifs ⁽¹⁾. Il s'est développé aussi un peu de *quartz* qui

(¹) Il y a eu postérieurement une tendance à la réouverture des fissures car la tourmaline est parfois elle-même fendue.

donne localement une pegmatique grossière avec la tourmaline; cette dernière forme un réseau d'orientation unique, dont les mailles sont remplies par le quartz d'un grand cristal. La *tourmaline* s'est aussi introduite, au voisinage des fissures, dans les feldspaths peu altérés où elle forme des plages déchiquetées se prolongeant souvent en arborescences réticulées.

Les modifications, subies par la roche elle-même, sont très comparables à celles signalées au voisinage des filons tourmalinifères plus importants; toutefois le quartz nouveau est plus abondant (grains dans orthose, simulant quartz granulitique) et les phénomènes d'albitisation moins frappants. Le minéral (*pyrite*) est plus fréquent, ses cristaux à formes nettes se rencontrent moulés par les feldspaths.

Il faut noter, enfin, l'abondance de l'*apatite* et de petits amas de cristaux très réfringents et biréfringents paraissant presque noirs à cause de leur petite taille et de leur indice très élevé; plusieurs laissent voir un axe négatif: c'est de l'*anatase* provenant sans doute des anciens micas noirs disparus (peut-être il y a-t-il aussi du *rutile*).

Quatrième type. — Un dernier cas à examiner est fourni par les échantillons présentant des veinules dans lesquelles le quartz l'emporte sur la tourmaline, la dissolution partielle des feldspaths par le quartz sans altération préalable est alors constante et souvent très accentuée.

Autres types de roches. — Les déblais de la mine de Bottalack ⁽¹⁾ et ceux des exploitations abandonnées plus proches

(¹) C'est à la mine de Bottalack qu'on a signalé depuis longtemps l'existence de l'*axinite*, évidemment en rapport avec la venue stannifère; mais comme ce minéral ne s'est pas développé dans le granite, mais dans le killas, je n'ai pu me rendre compte de l'époque à laquelle il s'est formé.

de Saint-Just fournissent des échantillons très comparables (¹), il en est dont la roche au voisinage de filonnets quartzeux ou tourmalinifère présente des mouches de chalcopryrite alors que lorsqu'il s'agit de filons chloriteux, le minéral (mispickel, pyrite, chalcopryrite, cassitérite) ne se trouve que dans le filon lui-même.

On rencontre aussi des roches plus transformées, il en existe de beaux échantillons dans les déblais qui longent le chemin qui va de Saint-Just au cap Cornwall. L'une verte, riche en quartz, est sillonnée de filonnets d'un vert plus pâle et absolument compacts. Le microscope montre que la roche elle-même contient quartz, muscovite et tourmaline, soit en cristaux de taille moyenne, soit en fines aiguilles. Les veines vert clair sont formées de fins cristaux de tourmaline, très serrés les uns contre les autres et enchevêtrés.

Une autre a une structure miarolitique, elle est encore essentiellement formée de *quartz* et de *tourmaline*, mais tous les éléments ont des formes nettes. Le *quartz*, tout à fait limpide et transparent, est en prismes hexagonaux de quelques millimètres de diamètre, qui laissent entre eux de petits espaces vides : la *tourmaline*, moins abondante que le quartz, se termine parfois par des pointements parfaits ; ses prismes sont moulés par le quartz. Enfin on reconnaît de petits cristaux de feldspath souvent complètement altérés, mais également moulés par le quartz et postérieurs à la tourmaline. On doit donc conclure que ce n'est pas lors de la production de cette dernière qu'ils se sont décomposés ; leur altération est simplement due à la circulation des eaux, facile

(¹) On peut recueillir un véritable granite à tourmaline dont le quartz à éclat gras est très irrégulièrement distribué et où le plagioclase est de l'albite presque pure, l'orthose contient de nombreuses facules d'albite de même orientation que les cristaux voisins.

dans cette roche par suite de sa structure. Dans les cavités on peut en observer quelques-uns qui ont des formes extérieures parfaites; ils possèdent les faces du prisme et une face p ou a^1 très développée. Beaucoup d'autres échantillons ne sont formés que de quartz et de tourmaline brune, soit antérieure, soit postérieure au quartz (¹). Les proportions relatives des deux éléments y sont très variables. Ces roches très spéciales ne paraissent pas contenir d'oxyde d'étain, ce qui montre que l'association de la cassitérite et de la tourmaline n'est nullement constante. Ce dernier minéral y est d'ailleurs toujours fortement coloré et souvent le premier cristallisé. Je crois que ce sont là des formations antérieures aux venues riches en étain et comparables aux formations pegmatiques ou aux greisens primaires d'autres massifs granitiques.

CONCLUSIONS A TIRER DE L'ÉTUDE DES GISEMENTS ANGLAIS.

Les remarques les plus importantes qu'on peut tirer de cette rapide étude des modifications des roches au voisinage des filons en Cornouailles sont les suivantes:

1. La roche normale est toujours un granite à grands éléments, riche en feldspath potassique, le plagioclase est de l'oligoclase albite, l'élément coloré peu abondant est de la biotite ou de la tourmaline (²).

2. La cassitérite primaire existe parfois, elle est rare et toujours peu abondante.

3. Lorsqu'il y a production de roches très spéciales essentiellement formées de quartz et tourmaline, il y a lieu de

(¹) Des roches du même type sont abondantes aux environs de Saint-Yves et de Saint-Austell par exemple.

(²) Ces cristaux de tourmaline primaire sont toujours très colorés.

distinguer celles qui sont primaires ou secondaires par recristallisation complète ou à peu près complète, de la roche primitive, de celles qui dérivent d'une simple modification de cette roche. Dans les premières, la tourmaline est antérieure ou contemporaine du quartz, elles peuvent contenir du feldspath (orthose) cristallisé en même temps que les autres éléments. Dans les secondes la tourmaline (généralement bleue ou verte) est postérieure au quartz de la roche primitive. Elle épigénise plus ou moins complètement les silicates d'alumine (1).

4. Les granites contenant de la tourmaline secondaire sont souvent très altérés, mais les échantillons favorables montrent que l'albitisation de l'orthose a souvent accompagné ou précédé la tourmalinisation (cette dernière s'attaquant de préférence aux plagioclases qui fournissaient la soude nécessaire à la production de la tourmaline); la séricite et la chlorite qui épigénisent les plagioclases cachent le phénomène, mais leur formation est postérieure.

5° Bien que les passages les plus progressifs existent dans la suite des modifications subies, que telle ou telle d'entre elles soit suivant les points la plus importante, et qu'elles puissent dans un même filon se succéder, soit pour compléter le remplissage, soit plus souvent grâce à des réouvertures on peut distinguer :

(1) Cette tourmaline secondaire normalement sodique et de couleur claire, pourra nourrir des cristaux de tourmaline brune primaire. Ces derniers ont pu être légèrement corrodés lors du début de l'albitisation qui accompagne souvent la tourmalinisation. La tourmaline secondaire sera brune : 1° si elle épigénise un minéral susceptible de lui fournir les éléments nécessaires à la production de cette variété (biotite); 2° si en même temps que Fl , Bo , Na , etc., arrive un peu de fer. Il pourra se produire alors des cristaux zonés.

Il importe de remarquer que ce n'est pas dans les roches les plus tourmalinisées que la cassitérite est la plus abondante.

a. Recristallisation complète de la roche, avec grand développement de tourmaline brune; peu postérieure à la mise en place du granite (fissures de retrait?).

b. Développement de tourmaline secondaire dans les feldspaths (orientée ou non sur eux). Albitisation. Peu ou pas de cassitérite. Modification produite au voisinage de fissures d'origine dynamique; n'est sans doute pas très postérieure à la mise en place.

c. Le quartz s'ajoute à la tourmaline ⁽¹⁾. Ces deux minéraux peuvent remplacer les feldspaths des éponges; ils remplissent des filons parfois puissants encaissés dans le granite broyé et se prolongeant dans les schistes voisins. La venue de cassitérite est plus abondante. Au lieu de quartz et tourmaline on a souvent de la chlorite avec seulement un peu des deux minéraux précédents. Elle épigénise les plagioclases des éponges tandis que l'orthose s'attaque par la périphérie. En même temps peut se former un peu de fluorine.

d. La proportion de tourmaline diminue, le quartz augmente. C'est le moment où la cassitérite est la plus abondante. Ailleurs la chlorite continuera à se produire, mais avec quartz et fluorine. A la cassitérite se joignent des sulfures et arsénio-sulfures.

Durant les deux dernières périodes il pourra y avoir attaque des éponges, mais la décomposition des feldspaths paraît généralement postérieure et due à l'action des eaux superfi-

(¹) La tourmaline contemporaine du quartz de remplissage est de couleur claire et en fines aiguilles; elle pourra cimenter les débris de tourmaline antérieure, brisée au moment de l'ouverture des filons. Cette dernière venue de tourmaline est la continuation insensible de la précédente.

cielles dont la descente est favorisée par le broyage du granite.

III. — GREISEN ET KAOLIN.

En terminant ce rapide examen, je tiens à signaler l'abus que l'on fait de certains termes courants, abus qui peut provoquer des confusions fâcheuses.

J'ai déjà dit ce que je pensais de l'emploi du mot *stockwerck* que l'on applique souvent à des faisceaux de filons à direction générale bien définie (¹); l'expression « greisen » est également par trop en faveur et appliquée à des roches qui, tantôt ont à peu près même origine, mais nullement la même structure, ni surtout la même composition minéralogique; tantôt se ressemblent au contraire, mais ne paraissent pas avoir cristallisé sous les mêmes influences. C'est ainsi que l'on appellera greisen la roche formée de quartz et mica de Zinnwald, les modifications riches en topaze du granite de Geyer, les tourmalinites du Cornouailles, que la tourmaline y soit antérieure au quartz ou y épigénise les feldspaths, etc. Il faut distinguer :

1° *Greisen primaire*. — Il se présente en masses relativement puissantes, je le crois formé sous l'influence des gaz émis par le magma et résulte soit d'une transformation de la roche primitive presque contemporaine de sa cristallisation, soit d'une modification locale véritablement primaire, mais ne ressemble en tous cas, ni par la composition, ni par la structure à la roche voisine.

2° *Greisen secondaire*. — Formé à une époque plus tardive

(¹) Voir les termes beaucoup plus justes que M. de Launay emploie dans son Ouvrage et a emprunté au vocabulaire des mineurs anglais,

par attaque des épontes d'une fissure de quelque origine qu'elle soit, par les fluides acides circulant dans cette fissure; on y reconnaît la structure et le grain de la roche primitive.

Les greisens seront à muscovite (zinnwaldite), topaze ou tourmaline.

L'expression kaolinisation paraît avoir été souvent employée trop facilement, car tandis que l'on dit couramment que les feldspaths sont kaolinisés aux épontes des filons stannifères, le kaolin ne s'y observe en réalité que rarement. J'ai montré plusieurs fois comment l'albite n'était souvent pas altérée au contact de la tourmaline ou de la cassitérite; lorsqu'elle est attaquée elle se transforme en séricite, en chlorite, non en kaolin. Quant aux feldspaths potassiques ils se décomposent en un produit amorphe, terreux, indéterminable, qui ne paraît pas non plus être du kaolin. Dans la région de Saint-Austell où la kaolinisation est si intense, les fractures sont nombreuses mais sans minéralisation. Il est vrai que la tourmaline s'est développée parfois le long de ces fissures ⁽¹⁾, mais des anas très important de roche entièrement kaolinisée n'en présentent pas trace. Je crois, sans vouloir discuter ici la question (n'ayant que trop rapidement parcouru les environs de Saint-Austell), que la cause initiale de la kaolinisation a été le broyage du granite, l'acide carbonique amené, soit par les eaux atmosphériques, soit peut-être par des eaux filoniennes venant de la profondeur, a pu alors, mais à une époque postérieure à celle du remplissage des filons stannifères voisins, postérieure à plus forte raison à la venue maxima des émanations borées et fluorées, attaquer la roche fissurée en tous sens et déjà désagrégée ⁽²⁾.

(¹) La tourmaline radiée qui se rencontre dans cette région donne, lorsqu'elle est abondante, la roche connue sous le nom de luxulianite.

(²) Pour M. F.-H. BUTLER (Kaolinisation and other changes in West of

IV. — ESSAI DE COMPARAISON DES GISEMENTS ÉTUDIÉS.

Si l'on compare les observations faites ci-dessus, il semble que différents types bien tranchés puissent être distingués parmi les gîtes passés en revue, d'après les transformations qu'a subies la roche primitive, l'allure des filons, les minéraux qui s'y rencontrent, etc. Ils ont, cependant, entre eux certains points communs : tous sont en relation avec des roches de la famille du granite, et parmi ces granites beaucoup sont riches en alcalis, tous sont pauvres en chaux ; nulle part on ne rencontre de silicate ferromagnésien autre que la biotite, et le feldspath le plus basique est l'oligoclase albite. J'ai essayé de montrer, dans ce qui précède, que si la muscovite, la tourmaline, la topaze et la fluorine étaient fréquentes dans les filons d'étain, elles ne leur étaient pas obligatoirement associées. Lorsque l'une d'elle est représentée, elle paraît exclure les autres, ce qui s'explique par leur communauté d'origine ; elles se remplacent suivant la nature des éléments que le milieu mettait à la disposition de ceux qui venaient de plus loin.

L'observation la plus intéressante qu'une recherche attentive permet de mettre en relief dans tous les gîtes, bien que les faits ne soient pas toujours partout aussi nets, c'est que la plus grande partie de ces minéraux borés et fluorés a

England rocks : *Mineralogical magazine*, t. XV, 1908, p. 128), la kaolinisation serait antérieure à la tourmalinisation et se serait produite sous l'influence de venues de CO_2 dégagé par l'attaque de masses calcaires profondes par HFl et HCl . Dans une période postérieure de dékaolinisation, ces calcaires décarbonatés, attaqués par Fl et Bo , auraient fourni les éléments nécessaires à la formation de l'axinite et de la fluorine. La tourmaline secondaire serait de cette époque. Voir aussi du même auteur : The natural history of kaolinite (*Mineralogical Magazine*, t. XVI, 1911, p. 63).

cristallisé alors que la formation de l'oxyde d'étain était peu abondante, la cassitérite s'étant déposée plus tard, soit dans d'autres filons, soit dans les mêmes, à la faveur de réouvertures⁽¹⁾. Le granite était, lors de ces venues où la cassitérite était abondante, bien solidifié comme le manifestent les phénomènes de broyage et le prolongement des filons dans les roches voisines ; les fractures qui ont donné naissance aux filons les plus riches, ainsi que les réouvertures qui ont permis à des fissures de retrait de recevoir un remplissage, sont d'origine dynamique.

L'association de l'oxyde d'étain avec les minerais sulfurés et arseniés, l'abondance du quartz et la présence au milieu de sa masse d'inclusions liquides à libelle, sont des caractères presque constants qui permettent de penser que, si la cassitérite du greisen primaire et des fissures de retrait ont peut-être cristallisé à haute température par réaction de substances gazeuses, celle des véritables filons a pu venir en solution aqueuse comme les sulfures qui l'accompagnent ou tout au moins à température relativement basse et en présence d'un grand excès de vapeur d'eau.

Il n'en reste pas moins vrai que l'expression appliquée aux gîtes d'étain de « gîtes de départ immédiat » est parfaitement justifiée. Jamais le minerai n'a été se déposer loin du massif dont il provient, jamais non plus il ne s'est formé longtemps après la mise en place de celui-ci, mais pourtant après le départ des fumerolles les plus volatiles et sa solidification complète.

Les tableaux suivants indiquent, pour les différents gisements, la succession des principaux faits relatifs à la venue de l'étain. Ils ne sont établis que pour permettre une comparaison facile, mais n'indiquent sans doute pas la cor-

(1) La fluorine au contraire paraît souvent postérieure à la venue maxima de la cassitérite.

respon dance exacte des phénomènes rapportés à une même colonne verticale. On ne doit pas oublier que, d'une part, l'évolution d'un massif est progressive et qu'il n'y a pas lieu, en réalité, de considérer un nombre déterminé de périodes principales, et que, d'autre part, il n'y a aucune raison de croire que la durée de la « vie active » d'un massif, c'est-à-dire celle qui s'est écoulée depuis le début de sa mise en place jusqu'au moment de son refroidissement et de sa stabilité définitive, ait été pour tous la même. Enfin, tel stade a eu pour un gisement une grande importance, qui dans un autre n'était que très secondaire.

	ROCHE PRIMITIVE.	MODIFICATIONS pneumatolitiques internes.	FORMATIONS pegmatiques.
<i>La Villeder</i>	Partie périphérique : granulite alcaline. Partie centrale granulite à 2 micas un peu moins acide.	Veinules et bourgeons (à quartz vermiculé) d'albite dans le microcline.	Veines irrégulières ou petits amas de pegmatite riche en orthose avec muscovite ou tourmaline.
<i>Altenberg</i>	Microgranite alcalin passant au granulite à grain fin. Un peu de topaze.	Albitisation intense de l'orthose.	
<i>Zinnwald</i>	Granite alcalin à zinnwaldite à grain assez fin.		Partie superficielle à gros grain. Amas riches en feldspath (orthose) en mica. Très peu de SnO ₂ .
<i>Geyer</i>	Granite à grain fin.		Stockscheider contact des schistes environnants.

MODIFICATIONS locales par départ de funeroles contemporaines de la con- solidation du magma.	MODIFICATIONS pneumatoliques de fissures et filons peu postérieurs à mi- en place de la roche (fissures de retrait ou d'origine dynamique).	FILONS nettement postérieurs à la solidification de la roche.	ALTÉRATION au voisinage des filons.
	Développement souvent intense de muscovite et surtout d'albite au voisinage des parois. Tourmaline dans les schistes.	Remplissage essen- tiellement quartzeux. Si adhérent à l'épon- te, dissolution par- tielle des feldspaths sans altération préa- lable. Muscovite, apatite, mispikel, cassitérite, etc.	Nulle près des filons où la roche est plus fraîche que loin d'eux.
	Veines réticulées verdâtres de Zwitter; développement de mi- ca et de topaze. Les veines passent du granite dans la rhyolite voisine. Très peu de minéral.	Veines produites par fractures. Parfois recoupent celles de Zwitter. Dans certai- nes le quartz est très abondant. Remplis- sage: un peu topaze et mica. Fluorine, cas- sitérite, mispickel.	Nulle ou très faible au delà des parties vertes (Zwitter).
Greisen formé de quartz et zinnwaldite pauvre en SnO_2 dans fissures de retrait pa- rallèles à la surface du massif.	Veinules de Zwitter dans la rhyolite voi- sine du granite.	Veines riches en quartz qui a succédé à une formation de zinnwaldite. Minéral (SnO_2) assez abondant avec wolfram.	Parfois assez forte, (greisen secondaire), parfois faible.
Localement forma- tion de greisen.	Filonnets peu ou- verts remplis de mica. Aux épontes dissolu- tion des feldspaths Restes d'albite très fraîs au voisinage im- médiate de la topaze et de la cassitérite qui, avec le quartz, rem- placent les feldspaths.	Filons quartzeux avec broyage de la roche aux épontes. L'arseniure de fer est abondamment mé- langé à la cassitérite.	Grand développe- ment de topaze aux épontes de certains filons (greisen secon- daire). Près des filons les plus récents : broyage et légère al- tération d'origine su- perficielle.

	ROCHE NORMALE loin des filons.	MODIFICATIONS pneumatolitiques internes.	FORMATIONS pegmatiques.
<i>Saint-Day</i>	Granite légèrement porphyroïde à tourmaline.	Croûte d'albite sur les plagioclases formée aux dépens du microcline et albite secondaire en petits cristaux maclés.	
<i>Carn Brea</i>	Granite à mica noir avec muscovite. Gros grain. Tendance à devenir porphyroïde.		
<i>Camborn</i> } <i>Redruth</i> }	Granite à mica noir avec muscovite, gros grain. Tendance à devenir porphyroïde		

MODIFICATIONS locales par départ de fumerolles contemporaines de la con- solidation du magma.	MODIFICATIONS pneumatoliques de fissures et filons peu postérieurs à mise en place de la roche (fissures de retrait ou d'origine dynamique).	FILONS POSTÉRIEURS à solidification parfaite. (Filons ou réouvertures d'origine dynamique).	ALTÉRATION au voisinage des filons.
		Chlorite (delessite) seule ou avec quartz ou avec fluorine. Epi- génise le plagioclase au voisinage du filon, orthoscrésistemioux.	Partout un peu d'al- tération superficielle. Au voisinage des filons altération, comme altération at- mosphérique ou filo- nienne normale. Plus près chlorite remplace séricite et finit par envahir tous les felds- paths.
	Albitisation du mi- crocline formé aux épontes de certains filons. Formation de tour- maline un peu SnO_2 .	1° Quartz. Dissolu- tion des feldspaths surtout de l'albite. Les reste en sont par- faitement limpides. 2° Quartz et chlo- rite altération des feldspaths (comme Saint-Day) mais pla- gioclase souvent dis- sous par le quartz. $\text{FeAsS} - \text{SnO}_2$.	Altération générale légère type superfi- ciel. Albite plus fraîche que loin du filon dans le cas de remplissage unique- ment quartzeux.
	Remplissage filons : Beaucoup de tourma- line peu de quartz un peu cassitérite. Albitisation très fréquente mais très difficilement obser- vable par suite du développement d'un peu de chlorite et de l'altération récente (favorisée par le broyage) au voisinage des filons.	Quartz avec un peu de tourmaline ; ma- ximum de SnO_2 , en d'autres point CuFeS_2 .	Souvent altération récente d'origine su- perficielle. Contre filons broyage et forte altération (récente).

	ROCHE NORMALE loin des filons.	MODIFICATIONS pneumatolitiques internes.	FORMATION pegmatiques.
<i>Saint-Yves</i>	Granite porphyroïde à mica noir.	Croûtes d'albite sur les plagioclases et facules secondaires d'albite dans les orthoses.	
<i>Saint-Just</i>	Granite légèrement porphyroïde avec un peu de tourmaline et de biotite.		
<i>Saint-Austell</i>	Granite porphyroïde à mica noir.		

MODIFICATIONS locales par départ fumerolles contemporaines de la con- solidation du magma.	MODIFICATIONS pneumatolitiques de fissures et filons peu postérieurs à mise en place de la roche (fissures de retrait ou d'origine dynamique).	FILONS POSTÉRIEURS à solidification parfaite (Filons ou réouvertures d'origine dynamique).	ALTÉRATION au voisinage des filons.
Roche quartz et tourmaline. Souvent SnO_2 mais celui-ci est postérieur et en grain dans fis- sures.	Tourmaline dans les feldspaths sans décomposition nota- ble. (Chloritisation et altération atmos- phérique postérieu- res).	1° Quartz avec amas et bandes de tourma- line en fines aiguilles. 2° Parfois chlorite. Plagioclase épigénisé par chlorite. Orthose résiste mieux.	Transformation très fréquente de la roche des épontes par développement de chlorite.
Roches : quartz et tourmaline avec par- fois petits cristaux d'orthose.	Beaucoup de tour- maline. 1° Tous feldspaths épigénisés. 2° Forte albitisa- tion de l'orthose, suivie de corrosion des feldspaths par le quartz et du déve- loppement de tour- maline.	Chlorite (delessite) très abondante avec un peu tourmaline et quartz. Elle envahit le plagioclase disso- lution de l'orthose. Parfois fluorine avec chlorite. SnO_2, FeAsS, FeS_2, FeCuS_2, etc.	Partout altération légère type superfi- ciel; près filons à tour- maline la roche est albitisée et plus frat- che. Près des filons chlo- riteux, la chlorite se substitue progressi- vement à la séricite.
Roches formées de quartz et tourmaline.	Tourmaline.		Dans granite gran- des traînées et amas de roche kaolinisée. Peut-être due à alté- ration d'origine su- perficielle après broyage.

CHAPITRE VII.

HYPOTHÈSES SUR LA FORMATION DE L'OXYDE D'ÉTAIN.

J'ai toujours employé l'expression de « fluides » pour désigner l'état physique des agents qui ont amené la silice, je ne puis, en effet, affirmer qu'ils étaient en solution aqueuse. Ce n'étaient, certes plus, des fumerolles à haute température qui circulaient dans les fractures, mais il est possible que ce fût de la vapeur d'eau (température critique 365°).

D'après ce qui a été exposé jusqu'ici, on peut toutefois affirmer que ces fluides étaient riches en eau, transportaient beaucoup de silice, de l'alumine, de la soude, de la potasse, un peu de phosphore et de fluor combinés à des bases, de l'acide carbonique, de l'hydrogène sulfuré, des carbures divers et les éléments susceptibles de donner naissance au mispickel, à la blende et à la cassitérite.

La présence de l'eau dans les inclusions et l'abondance relative des sulfures tend à prouver qu'il s'agissait d'une solution ; mais, ce sont là des preuves insuffisantes. Le mispickel que l'on trouve dans les roches modifiées, type *c*, est moulé par les éléments de la granulite, donc un des premiers formés lors de la recristallisation, à une époque où il y a lieu de croire que l'eau n'existait pas à l'état liquide. Il ne faut pas perdre de vue que les sulfures que l'on rencontre habituellement en filons concrétionnés comme la galène peuvent avoir une origine pneumatolitique (¹).

(¹) M. LACROIX a signalé la galène pneumatolitique dans les granites à

Qu'il s'agisse d'ailleurs d'eau à l'état liquide ou de vapeurs parmi lesquelles la vapeur d'eau était certainement très abondante, il importe peu ; ce qui est certain, c'est que l'époque où les fumerolles fluorées et chlorurées à haute température semblent avoir été les plus abondantes était passée, et que l'on se rapprochait de celle où peuvent se produire les filons concrétionnés ordinaires. Je considérerai, selon l'hypothèse que je crois la plus vraisemblable, qu'il y a eu circulation de liquide, mais en laissant subsister un doute ; ce qui suit pouvant d'ailleurs également s'appliquer à des vapeurs sous pression.

L'examen comparatif des gisements stannifères les plus importants montre que si quelques-uns d'entre eux se rapprochent de celui de la Villeder et que beaucoup d'autres ont avec lui quelques points communs, aucun ne possède aussi nettement ses caractéristiques :

1° En dehors de l'apatite et de la muscovite on ne rencontre pas de minéraux contenant Fl , Cl , Bo en quantité notable dans les filons riches en SnO_2 , encaissés dans la granulite. La tourmaline s'observe dans les schistes, mais encore sa formation est-elle en majorité antérieure à celle de l'oxyde d'étain ;

2° Circulation, antérieure au remplissage, de fluides riches en soude. La venue alcaline se continuant pendant le remplissage ;

3° Pas d'attaque des épontes contemporaine du dépôt ;

4° Quartz filonien très riche en inclusions contenant essentiellement : H_2O , CO_2 , H_2S , carbures d'hydrogène et une quantité appréciable d'alcalis, un peu de chlorure, mais pas d'acides forts libres ;

ægyrine du nord-ouest de Madagascar et dans les syénites des îles de Los. Il en a observé la formation par fumerolles en 1906 au Vésuve.

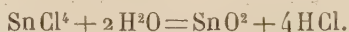
5° Sulfures Fe et Zn et arséniosulfure de Fe mélangés parfois intimement avec SnO^2 ;

6° Cristaux SnO^2 en pleine masse du quartz qui les moule de tous côtés ;

7° Remplissage postérieur à la parfaite consolidation du massif.

Aussi les hypothèses émises ci-dessous ne doivent-elles être appliquées qu'à La Villeder, aux gîtes qui paraissent très comparables [Portugal, nord de l'Espagne, Tonkin ⁽¹⁾, etc.] et peut-être aux dernières périodes du remplissage des autres.

La réaction, généralement admise pour expliquer la formation de la cassitérite dans les gîtes filoniens, est la suivante :



Elle a été réalisée par Daubrée ⁽²⁾ qui faisait réagir à haute température (tube de porcelaine chauffé au rouge) la vapeur d'eau sur le chlorure d'étain ; l'oxyde d'étain formé était en cristaux orthorhombiques.

On a vu plus haut (pages 30 et 41) quels étaient les arguments invoqués à l'appui de cette hypothèse, mais comment aussi on peut les croire (à la Villeder en particulier) insuffisants. La désalcalinisation des feldspaths a pu, en certains cas, avoir pour cause l'action d'acides énergiques libres, mais les exemples classiques de pseudomorphoses de

(¹) Je ne parle pas ici de ces gîtes sur lesquels je n'ai pas de renseignements assez complets ; mais, comme à la Villeder, il s'agit de fractures en faisceau à direction générale bien déterminée, avec modification de la roche des épontes par développement d'albite demeurée parfaitement limpide.

(²) *Ann. des M.*, 4^e série, t. XVI, 1849. Daubrée fait remarquer par ailleurs, dans le même travail, que certaines substances considérées comme fixes peuvent être transportées par des courants de gaz à un état moléculaire voisin de celui de dissolution.

feldspath en cassitérite de la mine de Carclaze en Cornouailles peuvent eux-mêmes s'expliquer autrement ⁽¹⁾. On peut supposer, en effet, que la roche contenant de la cassitérite disséminée primaire, a été décomposée par des eaux chargées de CO_2 susceptibles d'attaquer les feldspaths. Les solutions diluées de carbonates alcalins ont pu alors dissoudre un peu de quartz et d'oxyde d'étain, qui se sont déposés à la place des anciens cristaux d'orthose disparus.

Il est, en effet, certain que des eaux simplement chargées d'acide carbonique ou de carbonates alcalins peuvent laisser déposer de la cassitérite ; deux exemples le montrent bien : la pseudomorphose en SnO_2 de restes organiques (R. Beck, *Traité des gis. mét.*, p. 725, et *Mineralogical Magazine*, t. IV, p. 4) et sa formation dans les dépôts de sources thermales signalée par M. Stanislas Meunier (*C. R. Ac. S.*, 27 mai 1890).

L'abondance, ou tout au moins la constance du mispickel dans les filons de la Villeder, prouve que l'existence d'arséniures et sulfures devaient, lors du dépôt de l'oxyde d'étain, être compatible avec la nature du milieu ⁽²⁾. M. Lodin ⁽³⁾ a insisté sur ce que le minerai n'est pas associé aux minéraux fluorés et borés (tourmaline, topaze, fluorine, etc.) ; il montre aussi que si la venue stannifère avait donné lieu aux réactions citées ci-dessus, on ne pourrait comprendre ni expliquer comment les sulfures antérieurs ou contemporains ont pu résister.

⁽¹⁾ On a d'ailleurs observé une pseudomorphose d'orthose en blende lamelleuse mispickel et quartz. (*A. des M.*, 7^e série, t. XVII, p. 286.)

⁽²⁾ Il existe des exemples de remplissages contenant beaucoup de mispickel et seulement un peu de cassitérite. C'est le cas par exemple pour le filon du Rodier, près de Saint-Martin d'Ollières (Puy-de-Dôme) qui fournit du mispickel en masses de plusieurs dizaines de kilogrammes. En les brisant on reconnaît çà et là des grains de cassitérite noyés dans le sulfo-arséniure.

⁽³⁾ *B. S. G. F.*, 3^e série, t. XII, p. 645.

Chacun sait que parmi les fumerolles qui succèdent aux éruptions, on distingue habituellement quatre types.

Cette succession souvent constatée pour les roches volcaniques, s'est bien probablement produite pour les roches de profondeur avec une plus longue durée de chaque période, le massif étant grand, la chaleur emmagasinée considérable, le refroidissement très lent, la roche très acide. On ne doit toutefois pas séparer les fumerolles des deux premiers types [sèches ⁽¹⁾ et acides], le magma granitique n'ayant, semble-t-il, jamais été porté à la température qu'atteignent les laves.

Il y a donc lieu de considérer trois périodes. La première correspondant à la mise en place et au commencement du refroidissement, caractérisée par Cl, Fl, Bo; la seconde, par H²S; la troisième, accompagnant la fin du refroidissement, par CO².

Les observations de la page 215 indiquent que lors de la première période les minéralisateurs qui la caractérisent étaient saturés par les bases alcalines, sans doute en excès, et que la venue et le dépôt de la cassitérite ont dû s'effectuer pendant la deuxième et la troisième, non pendant cette première comme cela aurait eu lieu, si la réaction indiquée par Daubrée s'appliquait.

Il faut envisager successivement : l'origine de l'étain, son transport, sa précipitation à l'état d'oxyde.

ORIGINE DE L'ÉTAİN. — Il est reconnu qu'il faut l'attribuer au massif granitique voisin. Le magma, lors de sa mise en place, devait être soumis à une pression considérable et se trouver à une température relativement élevée. C'est à cette époque que les fumerolles émises (1^{re} période) pouvaient entraîner l'étain et donner lieu aux réactions de la page 216. La cassitérite des greisens peut avoir cette origine.

(¹) Ces fumerolles dites « sèches » sont riches en vapeur d'eau.

TRANSPORT. — Comme l'eau pouvait et devait souvent être en fort excès, rien n'empêche d'admettre qu'une certaine quantité du chlorure ⁽¹⁾ se soit dissous ou ait été entraîné par la vapeur ⁽²⁾. Peu à peu l'acide libre corrodant les épontes se combinera avec les bases des feldspaths, et l'oxyde d'étain tendra à se précipiter à mesure que l'acidité du solvant diminuera.

On peut ainsi expliquer un certain transport de la cassitérite, mais il y aura simultanément attaque des épontes, production de NaCl et dépôt de SnO₂, aussi le filon sera-t-il encaissé dans une roche à feldspaths attaqués, et le quartz contiendra-t-il souvent dans ses inclusions une quantité appréciable de NaCl. Tel n'est pas le cas à la Villeder, mais le minerai de certains filons des gisements anglais ou allemand a sans doute cette origine. Cette hypothèse s'applique à tous les cas où l'on a signalé la cassitérite non loin du massif générateur avec des épontes attaquées et la présence fréquente de minéraux contenant en abondance Cl, Fl, Bo. Le transport, toutefois, ne sera jamais considérable, car la neutralisation de l'acide s'effectuera assez rapidement.

L'attaque des épontes qui variera avec l'importance de la minéralisation pourra ne pas être accentuée car la com-

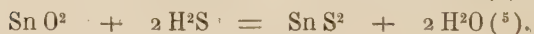
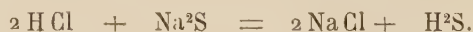
(¹) Pour simplifier l'exposé il ne sera plus parlé que de chlorure mais on peut toujours remplacer Cl par Fl.

Pour la même raison, j'admettrai dans la suite que l'eau était à l'état liquide. SnCl₄ est soluble dans l'eau (MOISSAN, t. II, p. 591); la solution chlorhydrique de bioxyde d'étain est stable si elle contient une quantité suffisante de HCl. Très étendue d'eau, elle précipite, mais la dissolution chlorhydrique extrêmement étendue retient encore une quantité très appréciable de cet oxyde; de plus certains corps hydro-carbonés empêchent la précipitation lorsqu'on étend la liqueur.

(²) Il n'y a peut-être pas vraiment dissolution l'eau étant à l'état de vapeur, mais celle-ci peut entraîner un peu de chlorure d'étain que l'on retrouve en solution après sa condensation.

binaison de l'acide libre se fera sur une grande étendue ⁽¹⁾. L'absence de topaze et tourmaline ne pourra pas être invoquée contre cette hypothèse, car la cassitérite pourra être conduite au delà de leur zone de dépôt; ils seront néanmoins fréquents puisque le transport sera faible.

Peut-être à la Villeder un transport de ce genre a-t-il eu lieu, en profondeur, mais j'ai montré comment on peut avoir la certitude qu'à un moment voisin de la formation des fissures filoniennes, des venues riches en alcalis et particulièrement en soude les avaient parcourues, et que les solutions ⁽²⁾ qui avaient provoqué plus tard le remplissage des filons l'étaient également. Or, à l'époque de ce remplissage, les remarques de la page 215 indiquent que les fumerolles de la première période (Cl. F1) étaient en décroissance ou même avaient cessé de se dégager, tandis que celles de la seconde période (H²S) étaient abondantes. Il est donc vraisemblable de penser que les solutions ⁽³⁾ en circulation étaient alors chargées de sulfures alcalins et d'acide sulfhydrique. On peut ainsi avoir les réactions :



(¹) Une formation de topaze, aux dépens des feldspaths, comme en Allemagne suffit à saturer l'acide fluorhydrique, tant par sa fixation par l'alumine que par sa neutralisation par la soude mise en liberté, sans que les résidus feldspathiques soient altérés.

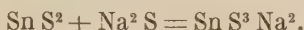
(²) Voir remarque page 147.

(³) Pour simplifier l'exposé je ne parlerai que de soude mais il est bien évident que tout se passe de même avec la potasse.

(⁴) Cette réaction se produit si la solution de chlorure est peu acide. Avec une solution très diluée on pourrait avoir Sn O² + HO, mais cet oxyde serait rapidement transformé en sulfure la venue de H²S continuant.

(⁵) Sn O² et les hydrates de Sn O² nouvellement précipités sont, même

Réactions qui montrent la transformation du chlorure d'étain gazeux ou en solution, de l'oxyde peut-être formé précédemment et entraîné (page 219), et la neutralisation de l'acide chlorhydrique de même origine non encore saturé par les bases des épontes. Le sulfure d'étain, facilement soluble dans les solutions de sulfures alcalins, se combine avec eux en donnant des sulfosels solubles, susceptibles d'être transportés sans que les réactions produites avec les bases de la roche encaissante ne puisse en précipiter l'étain comme cela arriverait avec la solution acide de chlorure. La formation du sulfo-stannate répond à la réaction :



PRÉCIPITATION. — Le sulfure, même s'il n'est pas entraîné à l'état de sulfostannate, ce qui pourra se produire si les sulfures alcalins ne sont pas assez abondants, ne restera pas à cet état, car il est facilement décomposé par la vapeur d'eau; il y a dégagement d'hydrogène sulfuré on a :



L'oxyde d'étain formé est très pur.

Si l'étain a été transformé en sulfostannate, la solution est susceptible de précipiter du sulfure d'étain, si elle est décomposée, par un acide :



L'acide chlorhydrique libre a été neutralisé et ne pourra

dans les conditions habituelles de température et de pression, attaquables par H^2S . Ils sont directement solubles dans les sulfures alcalins.

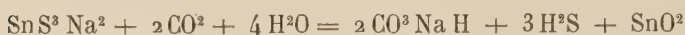
(¹) Il y a en même temps production d'un peu de Sn O^2 surtout en solution diluée. (MOISSAN, *Traité de Chimie générale*, p. 621).

réagir, mais il est un acide que le magma lui-même commence à cette époque de son évolution à produire en grande quantité : c'est l'acide carbonique (3^{me} période de fumerolles) dont l'abondance est extrême dans les inclusions du quartz.

Une solution assez concentrée de sulfostannate de soude donne sous l'action de l'acide carbonique :



et il se forme en même temps un peu d'oxyde.



Si la solution est très diluée, l'étain précipite en grande partie à l'état d'oxyde (Sn O^2 hydraté).

Diverses expériences ont été faites : 1^o Du sulfo-stannate d'étain en solution diluée a été placé dans un long tube de 2^{cm} de diamètre que l'acide carbonique parcourait bulle à bulle. Au bout de quelques heures il se dégage de l'hydrogène sulfuré et la liqueur se trouble légèrement. En laissant passer très longtemps l'acide carbonique, on arrive à précipiter tout l'étain. Le précipité rassemblé est blanc, il est formé de soufre et d'oxyde d'étain hydraté. Si on le recueille et qu'on le calcine, le soufre disparaît et il reste du sulfure noir d'étain; si on l'abandonne à lui-même il devient noir (formation de sulfure); placé immédiatement dans un flacon rempli d'acide carbonique, il reste blanc.

2^o Avec un courant d'acide carbonique lent mais régulier et une solution très diluée le précipité de soufre diminue d'importance. Le dégagement de H^2S dure tant que passe CO^2 ;

3^o La solution de sulfo-stannate diluée placée dans un récipient clos avec de l'acide carbonique légèrement comprimé prend une coloration brune ⁽¹⁾ (était incolore), il pré-

(1) Dans la décomposition du sulfostannate par l'acide carbonique, on

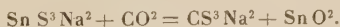
cipite un peu d'oxyde hydraté d'étain. Si l'on renouvelle l'acide carbonique qui se trouve au-dessus du liquide, celui qui a séjourné au contact de la solution entraîne avec lui beaucoup de H^2S .

Je n'ai pas obtenu SnO^2 pur et sec ne pouvant opérer sur une solution assez diluée pour éviter toute précipitation de soufre, et ne pouvant faire passer CO^2 assez longtemps pour éliminer tout l'acide sulfhydrique susceptible de se former (il faudrait faire passer un courant continu et régulier de CO^2 pendant plusieurs semaines). Il en résulte que l'on ne peut séparer SnO^2 hydraté du soufre qui lui est mélangé et de la liqueur sulfureuse qui le surmonte, sans qu'il ne se transforme en sulfure brun. Il semble toutefois probable qu'avec une solution extrêmement diluée et un courant de CO^2 très prolongé, il n'y aurait pas du tout de soufre précipité et tout l'étain serait à l'état d'oxyde. C'est ce qui a dû se passer dans les filons où la venue de CO^2 continue et abondante entraînait H^2S ; le dépôt, très divisé, s'est rassemblé ultérieurement autour de centres de cristallisation.

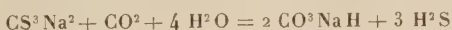
Cette hypothèse tient compte :

1° De la présence de quelques minéraux fluorés et chlorurés, puisque Cl et Fl ont été à un moment donné émis par le magma ;

peut supposer qu'il y a passage par le sulfocarbonate :



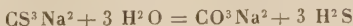
Ce sulfocarbonate se décomposant lui-même dans la suite :



ou



La réaction



ne se produit pas.

2° De leur production plus abondante avant le dépôt de la cassitérite ;

3° De l'absence de décomposition des épontes lors de la venue de SnO^2 et de leur alcalinisation préalable ;

4° De l'intervention de H^2O , H^2S et des alcalis ;

5° De la présence des sulfures et sulfoarséniures ;

6° De l'époque relativement tardive à laquelle le remplissage s'est effectué.

CHAPITRE VIII.

REPLISSAGE DES FILONS.

On a vu (pages 11, 31) quelles sont les caractéristiques des filons de la Villelder, et il suffira de se reporter plus haut pour retrouver les indications sur les rapports du quartz de remplissage avec les éponges, avec les minerais (p. 64, 73, 74) et les renseignements obtenus sur la nature des inclusions. Il en résulte que l'on a affaire à des filons simples, c'est-à-dire ne contenant qu'accidentellement des débris de la roche des éponges, homogènes, et ne présentant aucune variation, ni dans la nature des minéraux qui entrent dans sa constitution, ni dans leur aspect ou leur mode d'association.

Les conditions de dépôt du quartz sont donc restées constantes pendant toute la durée de la formation de ces filons qui dépassent 1^m de puissance. La cause peut en être :

Soit dans la rapidité du remplissage ;

Soit dans l'absence de toute variation dans la température, la pression, la nature des éléments chimiques en circulation, pendant toute la durée d'un remplissage peut-être fort lent.

Cette seconde hypothèse paraît peu admissible ; elle est en effet contraire à ce qui s'observe le plus souvent. Un filon un peu puissant, lentement rempli, est zoné, et même dans le cas où la nature du dépôt n'a pas complètement changé

durant les diverses périodes, la rapidité variable, la présence d'impuretés, la plus ou moins grande abondance du minerai, ont déterminé la production de couches superposées distinctes parallèles aux épontes. Il est même curieux de constater que souvent le passage des différentes zones entre elles est brusque ; il n'y a pas eu un changement continu des conditions sous l'influence desquelles s'accomplissait le dépôt, mais une série de périodes très distinctes entre elles et constantes pendant leur durée.

Des coupes faites dans des directions connues montre que le quartz des filons de la Villeder est formé de cristaux volumineux, étroitement enchevêtrés et, sauf au voisinage de l'éponte où ils lui sont quelquefois perpendiculaires, d'orientation tout à fait quelconque. Ces caractères ne sont pas ceux que devrait présenter un filon compact s'il était l'équivalent d'un filon zoné réduit à une seule de ses zones. Le tableau ci-contre donne le résultat des observations faites et ce que permettrait de prévoir les diverses hypothèses que l'on peut envisager.

On voit que les caractères des filons de la Villeder ne répondent à aucune des deux hypothèses proposées. Il semble toutefois que la cristallisation se soit effectuée dans un milieu calme, sans variations dans les conditions accessoires, et avec lenteur puisque les cristaux sont relativement volumineux. Par contre, comment croire qu'un dépôt lent ait été si régulier. Même en admettant que la venue de l'étain se soit effectuée comme je l'ai supposé ci-dessus, le massif granitique devait être à peine refroidi, au moins quant à ses parties profondes, et une pression relativement élevée se manifestait dans les fractures. Il semble alors qu'un remplissage n'ait pu se faire lentement, tout en arrivant à combler d'aussi puissants filons, sans que la nature des apports ou les conditions de dépôt ne se soient modifiées.

	REMPLISSAGE LENT.	REMPLISSAGE RAPIDE.	VILLEFERN.
<i>Nature du remplissage.</i>	Zoné.	Homogène.	Homogène.
<i>Gangue :</i>			
Taille des cristaux.	Relativement volumineux.	Petits.	Volumineux.
Orientation.	Perpendiculaires à l'éponte.	Orientation quelconque.	Parfois perpendiculaires à l'éponte à son voisinage.
Rapports réciproques des cristaux.	A peu près parallèles entre eux.	Enchevêtrés.	Généralement enchevêtrés.
<i>Minerai :</i>			
Taille des cristaux.	Assez volumineux.	Très petits.	Assez volumineux.
Disposition.	Sur des plans grossièrement parallèles aux épontes.	Disséminé.	Disséminé ou amas contre les épontes.
Rapports avec la gangue.	Déposé sur cristaux de quartz antérieurs.	Disséminé.	Parfaitement moulé par le quartz de tous côtés.
Rapports des divers minerais entre eux.	Généralement disposés en couches parallèles entre elles.	Mélangés.	Cristaux isolés, ou mélangés et s'entourant les uns les autres.
<i>Géodes :</i>			
Forme.	Lenticulaires.	Pas.	Souvent petites et irrégulières.
Disposition.	Sur le plan médian.		Distribuées au hasard dans toute la masse.

Quant à la production de ces beaux cristaux de cassitérite si parfaitement moulés par le quartz, de tous côtés, ils restent une énigme. Le quartz, déposé lentement et progressivement, aurait recouvert les rares particules de minerai, au fur et à mesure de leur production, et l'on ne devrait pas observer ainsi des cristaux qui, bien que volumineux, sont rares et distribués au hasard dans la gangue; sa formation rapide aurait entraîné une dissémination beaucoup plus grande du minerai. Ces cristaux développés comme dans un milieu

plastique, ne semblent compatibles ni avec un remplissage lent, ni avec un rapide dépôt du quartz.

Les très nombreuses petites géodes à forme anguleuse et irrégulière, distribuées sans ordre dans le filon sont très caractéristiques et leur formation demande aussi une explication rationnelle.

Les caractères indiqués permettent de supposer que :

1° Le remplissage s'est fait rapidement.

2° La cristallisation des minéraux entrant dans la composition du remplissage a été lente.

Ces deux suppositions ne sont nullement impossibles à concilier. On peut penser en effet que le remplissage s'est effectué d'abord à l'état amorphe par précipitation d'une silice gélatineuse, pauvre en eau, ultérieurement cristallisée à l'état de quartz. Voyons successivement : si l'hypothèse est plausible ; si elle concorde avec les faits observés.

Si le remplissage par dépôt primitif de silice gélatineuse est possible, on doit trouver :

Des exemples certains de transformation d'opale en quartz ;

Des exemples de remplissages filoniens contenant opale ou calcédoine.

Il est parfaitement reconnu que, soit sous l'influence de fumerolles, soit par le simple effet du temps, les molécules de silice constituant une opale tendent à s'orienter et à constituer un édifice cristallin, calcédoine ou quartz. C'est ce qu'on observe par exemple pour les silex qui originellement constitués par l'opale montrent maintenant à l'examen microscopique un mélange de silice fibreuse et de quartz. On peut remarquer que plus un silex est ancien, plus il est cristallin, et plus il contient de quartz (1).

(1) A. LACROIX, *Min. de F.*, t. III, p. 152.

On possède d'autre part des exemples de filons dont le remplissage siliceux est à l'état amorphe ou seulement faiblement cristallin (calcédoine), soit parce qu'il est de formation relativement récente, soit plutôt que les conditions favorables de température et de milieu n'ont pas été réalisées. On peut notamment citer la mine de Châtelaudren (Côtes du Nord) où l'opale et la calcédoine servent de gangue à la blende et à la galène. De même les fractures d'où sortent les sources thermales, présentent fréquemment des formations d'opale : c'est ce qui s'observe par exemple pour les Geysers ⁽¹⁾ et plus près de nous pour plusieurs sources thermales du massif du Mont Dore ⁽²⁾.

Quelle a été la raison pour laquelle la silice s'est déposée tantôt à l'état amorphe, tantôt à l'état cristallin ?

Il paraît certain que dans bien des cas la silice s'est déposée à l'état de quartz sans passer par l'état amorphe. Dans certains filons zonés, le minerai forme une couche moulant des pointements hexagonaux (Le Huelgoat, par exemple). Les cristaux de quartz existaient donc avant la venue du minerai, elle-même suivie d'autres dépôts. On pourrait-il est vrai, supposer qu'une croûte primitivement à l'état d'opale a eu le temps de cristalliser avant l'arrivée des eaux minéralisantes; mais cela est bien peu admissible, car il ne se serait pas formé de pyramides fortement en saillie dans le vide axial de la fracture, et il faudrait supposer un arrêt complet et prolongé du remplissage, ce qui paraît peu probable.

On connaît d'ailleurs des filons où l'on constate une alternance de bandes amorphes (ou cryptocristallines) et de

(1) C'est dans une source chaude de ce type que M. STANISLAS MENIER a signalé des dépôts siliceux avec cassitérite, *C. R. Ac. Sc.*, 27 mai 1890.

(2) Toute cette région contient des filons d'opale résinite de même origine; A. LACROIX, *Min. de F.*, t. III, p. 523 et 324.

bandes parfaitement cristallisées. Les filons d'améthyste des environs d'Issoire présentent ainsi des zones successives, les unes formées de cristaux violets assez volumineux et perpendiculaires à la surface de dépôt, les autres de silice fibreuse ou amorphe. Comme il n'y a aucune raison de croire que dans un remplissage primitivement amorphe, certaines parties seulement aient pris avec le temps une structure cristalline, il faut admettre que les eaux thermales ont alternativement déposé la silice sous des états différents. La silice en solution est d'ailleurs certainement susceptible de donner du quartz directement. Les cristaux volumineux qui se forment dans les druses augmentent progressivement comme nourris peu à peu ; il est facile de s'en convaincre par l'examen d'une coupe d'un cristal coloré, et en observant les inclusions souvent disposées suivant des plans parallèles aux faces.

Il y a donc lieu de se demander quelle est la cause qui détermine le dépôt de la silice à l'un ou l'autre de ses états. Il semble que l'on puisse comparer avec ce qui se passe lors de la précipitation d'une solution quelconque. Le dépôt est confusément cristallisé s'il est rapide, il peut même dans certains cas être amorphe pour une trop grande vitesse de formation.

Lorsqu'on examine la coupe d'une agate, on voit que la majeure partie en est à l'état de calcédoine, tandis que les dernières couches vers le centre sont formées de quartz bien cristallisé dans le vide qui a souvent subsisté. Or, les eaux ne circulent plus, à l'heure actuelle, dans les cavités où se formaient autrefois ces agates ; la dernière couche (vers le centre) correspond à une époque où la circulation était peu intense, c'est pourquoi il y a eu quartz. Si, comme cela arrive souvent, certaines zones de l'agate sont formées de cristaux de quartz orientés perpendiculairement à la surface de dépôt,

c'est qu'elles correspondent à un ralentissement de la venue siliceuse. La même observation peut se répéter pour toutes les formations siliceuses, là où il a circulé des eaux riches en silice, les dépôts sont abondants et constitués par de l'opale (massif du Mont Dore, geysers, silex de la craie, caillasses du lutétien supérieur, etc.); mais, là où la silice en mouvement est en faible quantité, il se forme du quartz (cristaux des géodes et des calcaires de tous terrains).

Dans les filons la confirmation de l'hypothèse est parfaite. Lorsque l'on trouve du quartz primitivement formé à cet état, on a la preuve d'un remplissage lent, si lent même que les conditions de dépôt et les substances amenées de la profondeur ont pu varier plusieurs fois pendant le remplissage d'une même fracture. On pourra pour chaque zone se rendre compte de la teneur en silice des eaux qui l'ont formée, l'épaisseur d'une zone étant, toutes choses égales d'ailleurs, fonction du temps et la netteté des cristaux inversement proportionnelle à la rapidité du dépôt. Les filons de ce type se trouveront souvent loin du lieu d'émission de la venue siliceuse et c'est ce qui explique leur lent remplissage.

Ceux qui, au contraire, sont encaissés dans la roche même dont proviennent les substances entraînées par les eaux filoniennes, et qui sont peu postérieurs à sa mise en place, se rempliront plus rapidement, et c'est là qu'on trouvera ces dépôts uniformes, présentant les caractères qui permettent de reconnaître un passage par l'état amorphe.

A la Villeder tous les caractères que le raisonnement peut prévoir se trouvent réunis. La granulite déjà solidifiée s'est fissurée, les eaux, chargées des matières fournies par le magma granulitique lui-même, ont circulé dans ces fissures et y ont déposé, avec la silice, les particules de minerais métalliques qui, par leur réunion, devaient pouvoir fournir des cristaux plus volumineux. La circulation des eaux était

intense et leur teneur en silice considérable, puisque l'on était fort près de l'origine de cette silice; de plus, la roche étant, dans sa partie périphérique, déjà un peu refroidie, le dépôt a dû être abondant et rapide, donc amorphe.

C'est cette matière amorphe qui, grâce à la température encore assez élevée qui la soumettrait à une sorte de recuit, grâce à la pression et peut-être aussi aux gaz en solution ⁽¹⁾, a cristallisé lentement en donnant des individus d'assez forte taille.

Cette hypothèse permet d'expliquer toutes les remarques faites à propos du remplissage :

1° L'orientation des cristaux de quartz. Au voisinage de l'éponte, celle-ci a pu exercer une action d'orientation, mais la masse ayant sans doute commencé à cristalliser en plusieurs points, les individus seront, sauf exception, d'orientation quelconque et enchevêtrés.

2° Le volume des cristaux. Assez considérable puisque la cristallisation a été lente.

3° La disposition des minerais et leurs rapports avec la gangue. Disséminés au milieu de la masse siliceuse amorphe et plus ou moins plastique, ils ont pu se rassembler (SnO^2 hydraté et sulfo-arséniure de fer, encore peut-être en solution), d'où : 1° production de cristaux de SnO^2 volumineux ⁽²⁾; 2° moulage parfait des moindres détails des cristaux; 3° formation d'amas où la cassitérite, le mispickel et

(1) La silice gélatineuse + H^2O + CO^2 maintenue à 350° en tubes scellés pendant plusieurs jours donne du quartz : DE SÉNARMONT, *C. R. Ac. Sc.*, 1851; *Ann. Ch. Ph.*, 1851.

(2) BRONNE, dans son rapport de 1856, a signalé un filon dans lequel l'étain était en très fines particules invisibles à l'œil; ce filon, sur lequel il ne donne malheureusement aucun détail, représente le cas où il n'y a pas eu réunion de SnO^2 autour de centres d'attraction.

la blende, tous en cristaux petits, mais nets, sont intimement mélangés⁽¹⁾.

4° La forme des géodes. Les cavités irrégulières que l'on rencontre en grand nombre, sont les conséquences naturelles du retrait subi par la masse lors de la cristallisation.

5° L'emplacement des géodes. Ces cavités de retrait se sont produites au hasard et dans toute la masse du filon.

6° Les inclusions. L'eau et les gaz contenus dans la silice, lors de sa précipitation, par suite de la pression relativement élevée, ont eu tendance à se dégager, mais n'ont pu y parvenir à cause de la trop grande viscosité qui empêchait les bulles formées de se réunir. Celles-ci se sont parfois distribuées en traînées, par suite, soit de mouvements dans la masse, soit de l'existence de régions moins visqueuses. Les lignes d'inclusions existant avant la cristallisation pourront donc n'être pas en rapport avec les éléments de symétrie des cristaux qui les contiennent et passer d'un individu à son voisin.

Le passage d'un quartz filonien par un premier état amorphe est, je crois, très fréquent pour les filons puissants à remplissage uniforme. Un bon exemple est fourni par le minerai exploité à la mine du Châtelet (Creuse). Le quartz gris foncé, à aspect compact, contient une multitude de petits cristaux de mispickel et de nombreuses veinules irrégulières, de directions quelconques, d'un quartz plus blanc, sans minerai. Une préparation mince montre que le quartz est en petits cristaux de toutes orientations, les particules de minerai étant incluses dans les grains quartzeux. Il y a eu :

1° Dépôt rapide et uniforme de silice amorphe avec minerai disséminé;

(1) Il pourra y avoir, dans certains cas, concentration contre l'éponte.

2° Cristallisation relativement rapide, n'ayant pas permis au minerai de s'agglomérer, et ayant abouti à la formation de petits cristaux de quartz enchevêtrés en tous sens;

3° Remplissage ultérieur, par du quartz non minéralisé, des fissures provoquées par la contraction de la masse.

CONCLUSIONS.

Je crois avoir fait plus que donner la monographie du gîte de la Villeder, car l'ayant examiné à tous les points de vue, l'ayant comparé aux exploitations les plus classiques, j'ai voulu déterminer un type de gisement stannifère distinct de ceux qui sont les mieux connus.

Dans les premiers Chapitres, je me suis efforcé de rechercher comment avaient pu prendre naissance les fractures : après avoir montré en quoi les hypothèses émises pour expliquer leur formation pouvaient sembler insuffisantes, j'ai exposé les raisons qui me font penser qu'elles sont la conséquence d'un important mouvement tectonique. C'est ainsi que j'ai été amené à donner un relevé des principaux filons (dont beaucoup avaient été signalés lors de l'exploitation), pour montrer que presque tous ont la même direction générale, et que les exceptions qui se rencontrent, s'expliquent par des déviations ou des accidents locaux. J'ai mis en relief les phénomènes de broyage aux épontes même des filons, prouvant ainsi la parfaite consolidation de la roche à l'époque de la formation des fractures, et l'importance de la poussée qui les a fait naître. Pour que la démonstration fût complète, il fallait rattacher cette poussée à un mouvement général de la région, et c'est ce que j'ai pu faire, en utilisant les données si précises des cartes géologiques dressées par M. Ch. Barrois.

Afin de pouvoir me rendre compte de la façon dont a pu

s'effectuer le remplissage des fractures, j'ai étudié successivement les minéraux qui entrent dans la composition des filons, les transformations que présente la roche au contact de ces derniers, et la nature des inclusions contenues dans le quartz.

Sur le premier de ces points, je ne pouvais guère apporter de renseignements nouveaux; aussi me suis-je, dans la plupart des cas, borné à préciser les relations mutuelles des différents éléments; j'ai pu, néanmoins, retrouver certains minéraux considérés comme exceptionnels à la mine, et signaler la présence de la *hübnerite* dont on ne connaissait en France que deux gisements.

L'étude des transformations de la granulite m'a mené à des constatations imprévues; on avait déjà signalé que la roche des épontes, sableuse sur l'affleurement du faisceau filonien devient résistante en profondeur; j'ai montré qu'en effet elle n'était pas décomposée mais qu'elle était profondément modifiée. Il y a au voisinage des fractures une forte augmentation de la teneur en alcalis, surtout en soude; elle se manifeste par une albitisation plus ou moins intense. Les filons passent dans le schiste, à leur contact la tourmaline se développe avec abondance; albitisation et tourmalinisation sont deux phénomènes contemporains et produits sous l'influence des mêmes agents; la nature de la roche primitive déterminant celle des nouveaux cristaux.

Afin de pouvoir étudier ces transformations de la roche des épontes, montrer que son altération sur les affleurements filoniens était due aux agents atmosphériques, et signaler les effets produits par la poussée, j'ai donné la description de la granulite et de ses principales variétés, et suivi la marche progressive de la décomposition qui l'a si souvent atteinte. J'ai aussi dit quelques mots des types écrasés que M. Barrois avait d'ailleurs déjà décrits, et des pegmatites et

aprites, montrant que ces dernières existaient déjà lors de la formation des fractures filoniennes.

L'extraction des gaz contenus dans le quartz m'a aussi donné d'intéressants résultats. L'odeur fétide qu'il répand sous le choc avait été signalée et l'on avait indiqué de nombreuses substances comme susceptibles de se rencontrer dans les inclusions du quartz. J'ai pu faire voir combien étaient importantes ces inclusions liquides des filons de la Villelder, et y caractériser, outre l'acide carbonique, l'hydrogène sulfuré, les hydrocarbures solides, liquides et gazeux, et montrer que la réaction de l'eau recueillie était alcaline.

J'ai voulu voir aussi en quoi le gîte de la Villelder se distinguait, ou au contraire se rapprochait, des principaux gisements connus. Comme ils sont depuis longtemps étudiés, je n'ai pas repris leur description; j'ai voulu seulement montrer que l'albitisation est beaucoup plus fréquente qu'on ne pourrait le croire tout d'abord, que l'albite fraîche coexiste souvent avec la cassitérite, la tourmaline et la topaze, et que si les minéraux borés et fluorés ont souvent cristallisé avec l'oxyde d'étain, ce dernier a été plus abondant à une époque plus tardive où, accompagné de sulfures et sulfoarséniures, il minéralise des filons essentiellement quartzeux ⁽¹⁾. L'albitisation a été souvent suivie ou accompagnée de tourmalinisation, c'est cette nouvelle transformation ainsi que l'importance de l'altération (kaolinisation) postérieure et généralement d'origine atmosphérique, qui en dissimule les effets.

Je me suis permis, sans oser toutefois affirmer l'exacte correspondance des stades considérés, de comparer ces gise-

(1) Ceci est tout à fait comparable à ce que l'on observe à la Villelder où, lors des modifications de la roche par albitisation, il ne se produisait pas de cassitérite qui ne s'est déposée que plus tard avec le quartz.

ments entre eux et avec la Villeder; mais ce n'est là qu'un essai, évidemment susceptible de bien des perfectionnements mais dont je n'ai nulle part rencontré l'équivalent.

Tous les renseignements recueillis à la Villeder m'ont conduit à proposer une hypothèse permettant d'expliquer la formation de l'oxyde d'étain. L'expérience ne m'a, certes, que très imparfaitement permis de la vérifier, mais elle tient compte des observations faites, et permet de croire que la cassitérite est venue en solution aqueuse et en combinaison avec des sulfures alcalins.

Enfin les différents caractères des filons m'ont fait supposer qu'il s'agit d'un remplissage rapide, mais cristallisé lentement, et que la silice a passé par l'état gélatineux. J'ai montré que cette hypothèse s'accorde parfaitement avec les faits.

Les caractéristiques du gîte de la Villeder sont donc :

Filons parfois puissants, encaissés dans une granulite modifiée mais non décomposée, remplissant des fractures d'origine tectonique de direction générale commune. Abondance des venues alcalines, qui ont précédé, puis accompagné un remplissage essentiellement quartzeux mais primitivement amorphe, effectué sous pression, en présence et à la faveur de l'acide carbonique, de carbures, de sulfures et de beaucoup d'eau, probablement à l'état liquide, peut-être à l'état de vapeur, mais à température peu élevée.

Vu et approuvé

Paris, le 12 juillet 1912

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

PAUL APPELL.

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 12 juillet 1912.

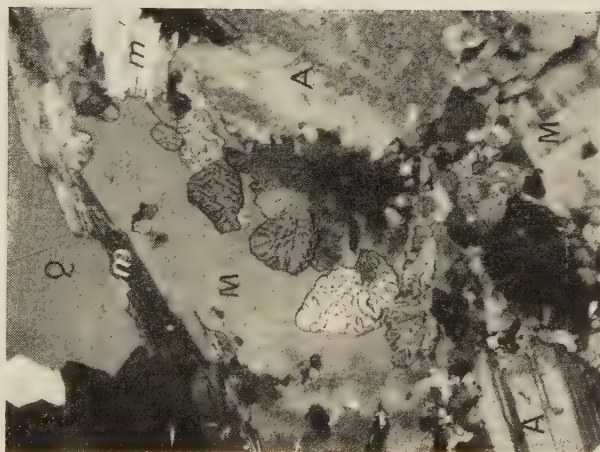
LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

L. LIARD.

BOURGEONS D'ALBITE A QUARTZ VERNICULÉ DANS LE MICROCLINE DU GRANITE BLEU DE LA VILEDER.

A : albite. — M : microcline. — Q : quartz. — m : muscovite.

Fig. 1.

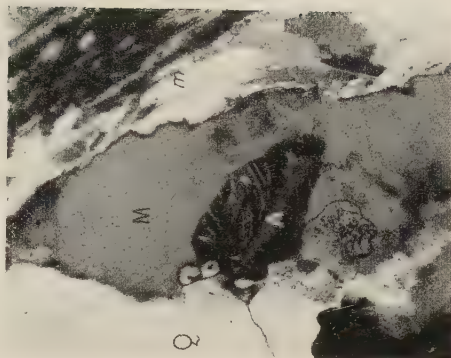


Gross. : 45 diam.

(Cliché Monpillard.)

Plusieurs bourgeons se sont développés en un point où le microcline est voisin de petits cristaux de toute nature; ils sont diversement orientés, le grand cristal d'albite voisin a une orientation indépendante (p. 96 et *Bull. Soc. Min.*, t. XXXV, p. 222).

Fig. 2.



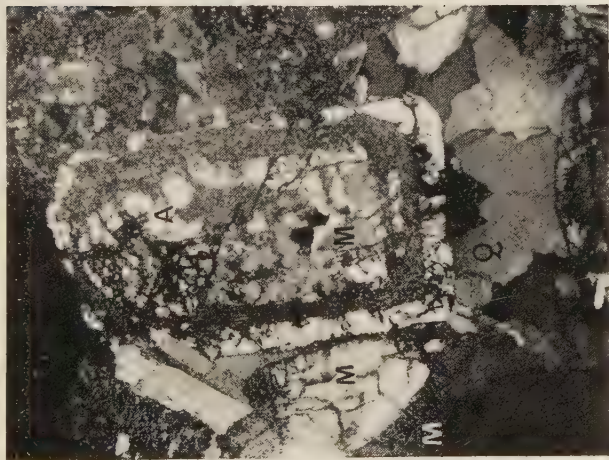
Gross. : 80 diam.

(Cliché Monpillard.)

Bourgeons développés dans le microcline au contact du quartz (p. 96 et *Bull. Soc. Min.*, t. XXXV, p. 219).

Fig. 3.

A : albite-oligoclase. — M : microcline. — Q : quartz.



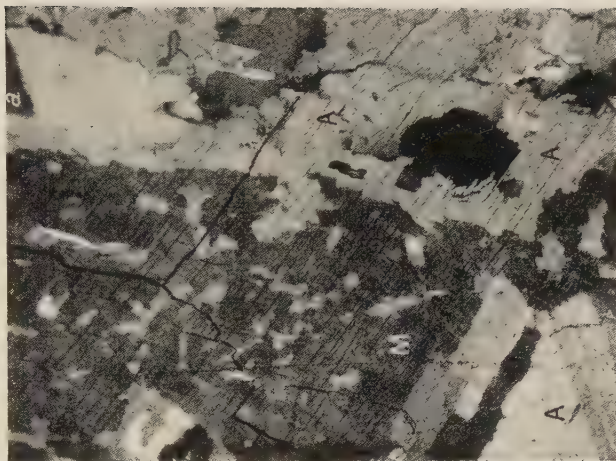
Gross. : 31 diam.

(Cliché Mompillard.)

Type d'altération rapide de l'albite-oligoclase. Le cristal se fendille, la séricite remplit les fissures qui limitent des grains restés limpides (p. 119-120). Le cristal d'albite contenait des débris de microcline antérieur; les deux feldspaths ont même orientation (p. 91).

Fig. 4.

A : albite. — M : microcline. — a : apatite.



Gross. : 30 diam.

(Cliché Mompillard.)

Cristal partie microcline et partie albite (section g^1) : les clivages sont communs aux deux feldspaths (p. 91 et 130).

Fig. 5.

A : albite. — M : microcline. — m : muscovite.



Gross. : 60 diam.

(Cliché Monpillard.)

Albitisation du microcline altéré au voisinage des filons.
Les deux feldspaths ont même orientation (p. 132 et 135).

Fig. 6.

A : albite. — M : microcline. — Q : quartz.
a : apatite. — m : muscovite.



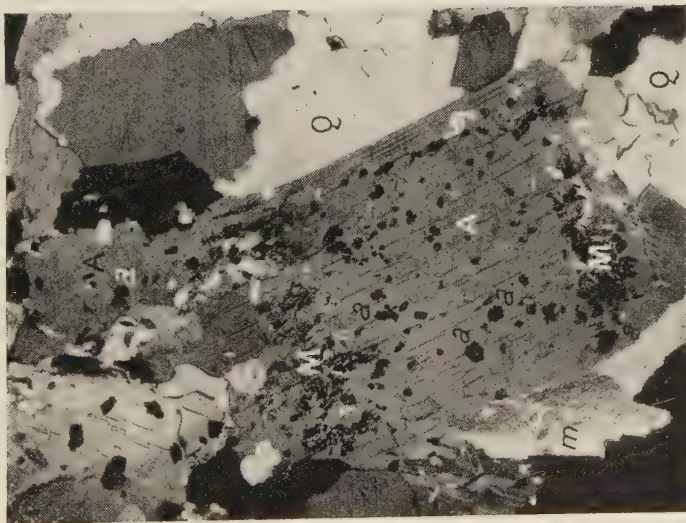
Gross. : 35 diam.

(Cliché Monpillard.)

Cristal de microcline partiellement transformé en albite, et postérieurement corrodé par le quartz. Le microcline est très altéré, l'albite est limpide : les deux feldspaths ont même orientation (section g°).

Fig. 7.

A : albite, — M : microcline, — Q : quartz.
a : apatite, — m : muscovite.



Gross. : 25 diam.

(Cliché Mompillard.)

Apatite disséminée dans l'albite limpide contenant des restes de microcline très altéré (p. 131).

Fig. 8.

A : albite, — a : apatite, — m : muscovite.



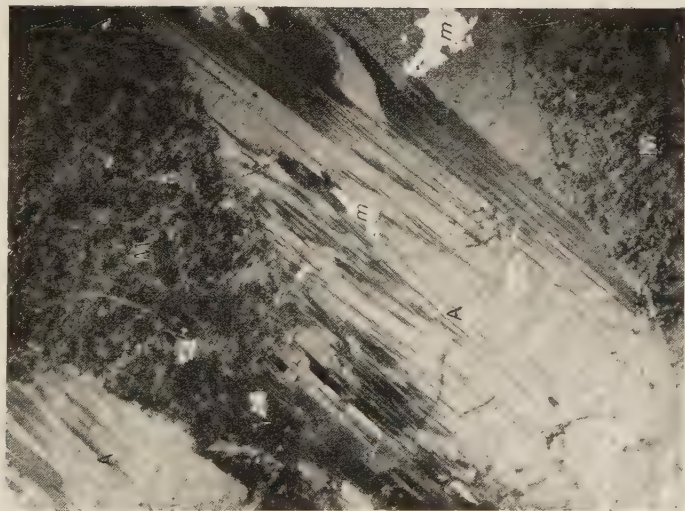
Gross. : 80 diam.

(Cliché Mompillard.)

Cristaux d'apatite (prismes gros et courts) contenant des inclusions ferrugineuses en aiguilles parallèles à l'axe principal et des inclusions liquides (les inclusions ont été un peu accentuées sur la photographie) (p. 135).

ALBITE LIMPE FORMÉE AUX DÉPENS DU MICROCLINE ALTÉRÉ (PEGMATITES).
A : *albite*. — M : *microcline*. — m : *moscovite*.

Fig. 9.



Gross. : 25 diam.

(Cliché Monpillard.)

La transformation a été progressive; les deux feldspaths ont même orientation (p. 111).



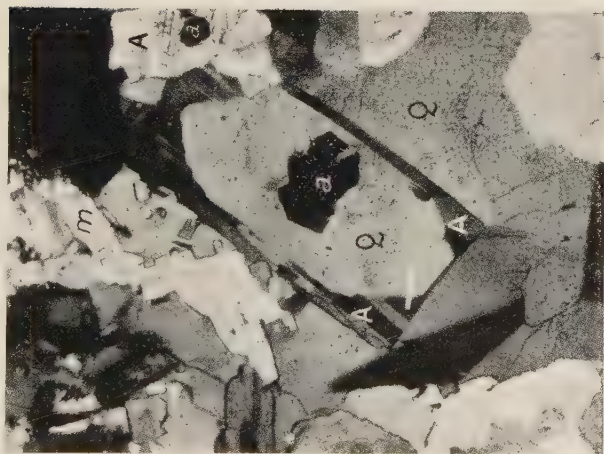
Gross. : 31 diam.

(Cliché Monpillard.)

La transformation a été rapide; les deux feldspaths ont des orientations différentes (albite recristallisée). L'albite a été postérieurement brisée (les clivages du microcline ont été légèrement accentués sur la photographie) (p. 113-114).

Fig. 11.

A : albite. — Q : quartz. — a : apatite.
m : muscovite.



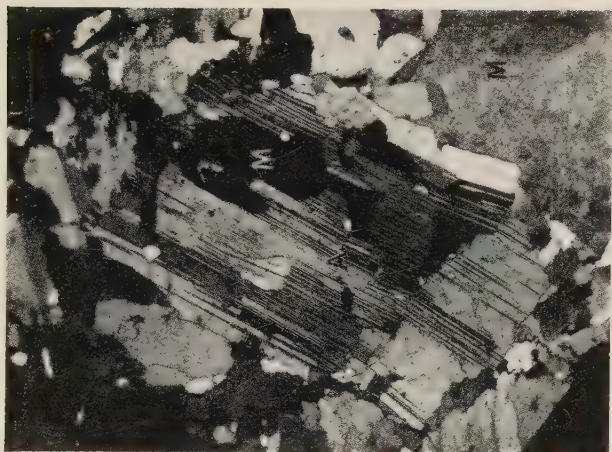
Gross. : 35 diam.

(Cliché Monpillard.)

Pénétration du quartz au voisinage des filons. Un cristal d'albite resté limpide est moulé et corrodé par le quartz (p. 132-133).

Fig. 12.

A : albite. — M : microcline

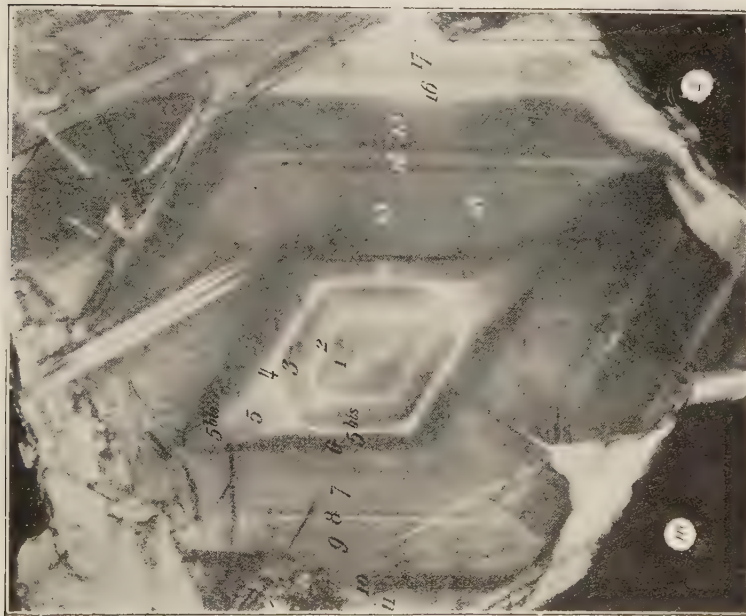


Gross. : 35 diam.

(Cliché Monpillard.)

Cristal d'albite limpide (roche modifiée du voisinage des filons) brisé (p. 149).

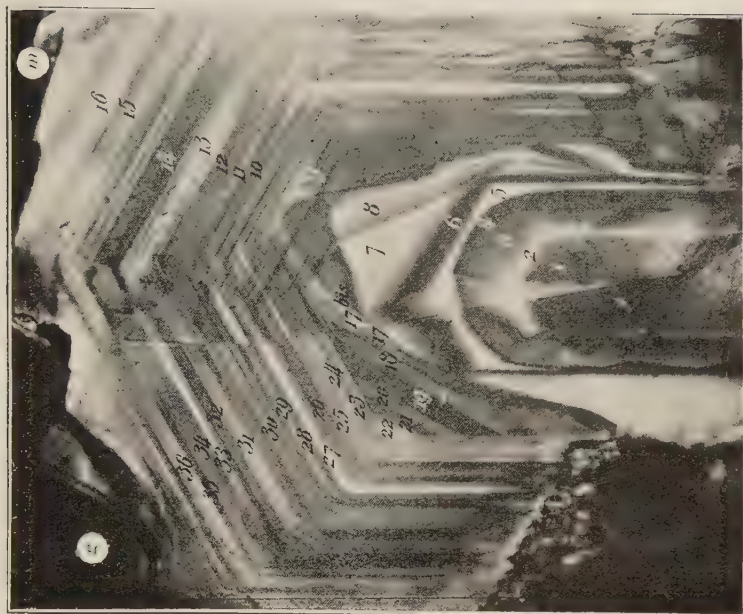
Fig. 13.



Gross. : 40 diam.

(Cliché de l'auteur.)

Fig. 14.

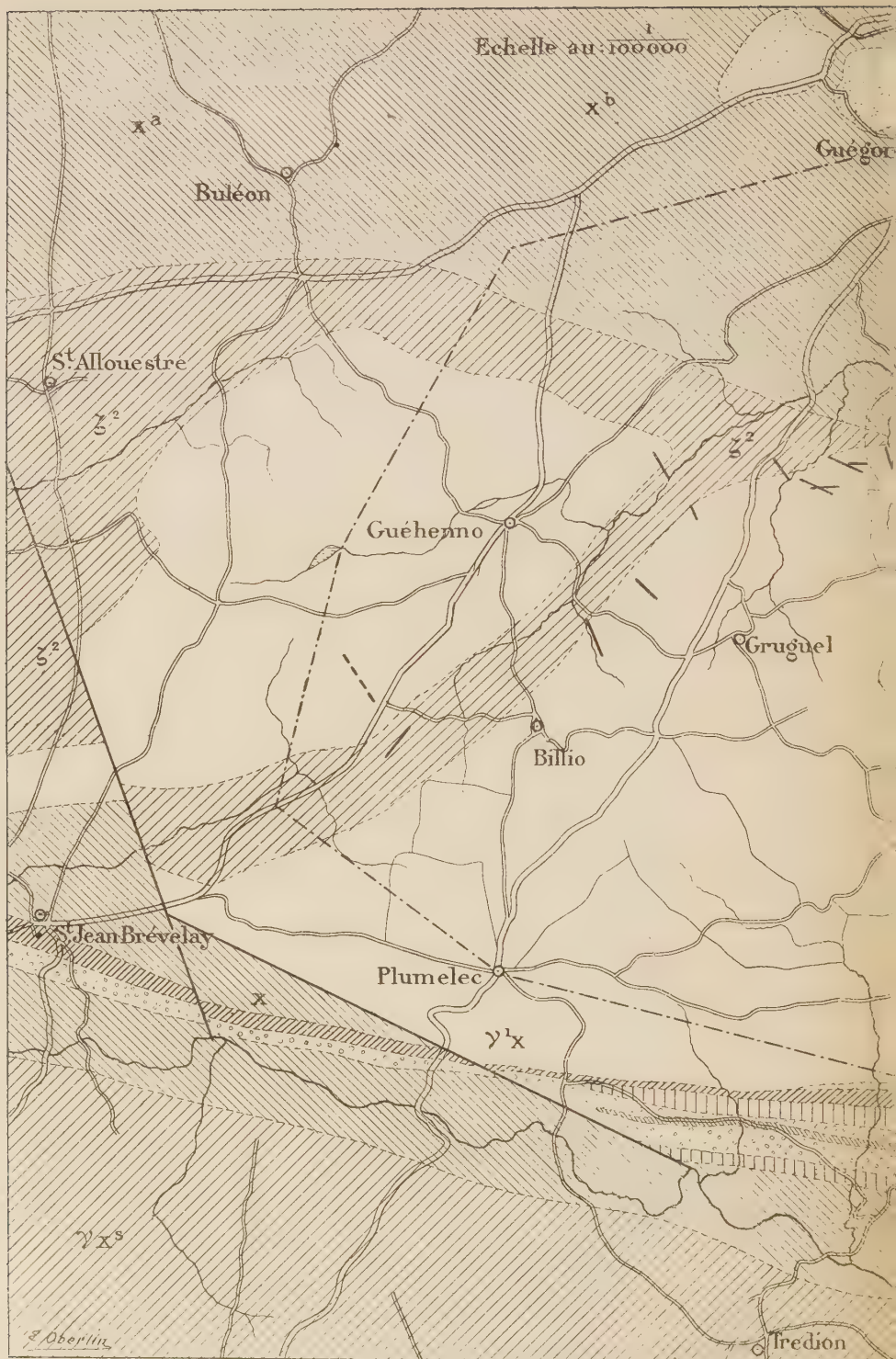


Gross. : 60 diam.

(Cliché de l'auteur.)

Cristaux de muscovite à zones de birefringences variées (p. 83-132).

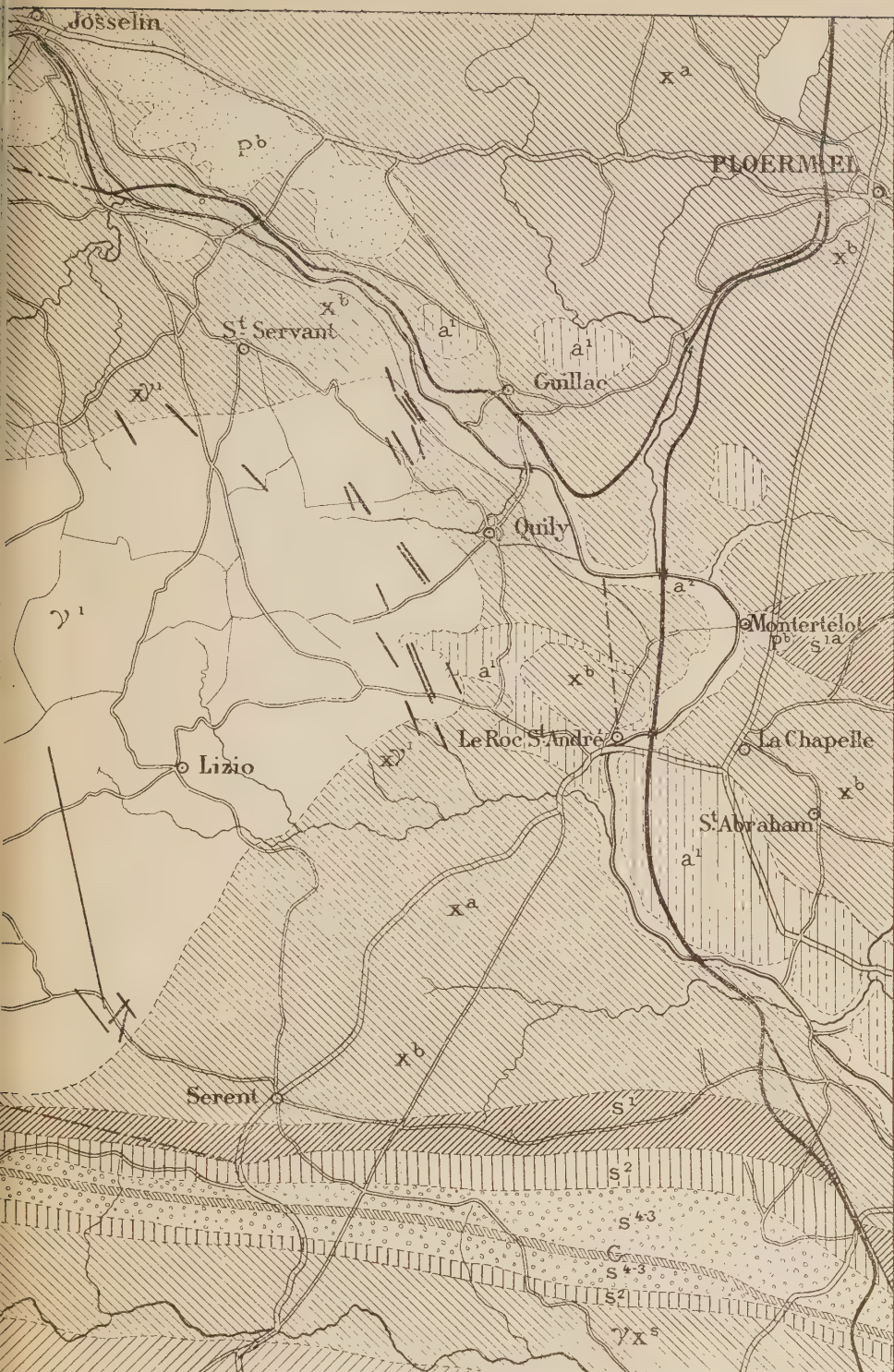
(Les numéros se rapportent à la Note parue dans le *Bulletin de la Société Française de Minéralogie*, t. XXXIV, p. 252).



CARTE GÉOLOGIQUE D
D'après la carte géologique détaillée de l

γ^1 . Granulite.
 γx^1 . Granulite métamorphisée (broyée).
 γx^2 . Granite feuilleté de Lanvaux.
 γ^2 . Schistes à minéraux et micaschistes.
 X^3 . Schistes micacés

X^a . Schistes c
 X^b . Schistes c
 S^1 . Grès arm
 S^2 . Schistes d



DE LA VILLEDER.

feuille 89 dressée par M. Ch. BARROIS.

Ilé les limites de la concession bornée à l'Est par la route et le canal.

des de Saint-Lô.

gues de Gourin.

gues de Montfort.

S⁴⁻³. Schistes et grès de Camaret.

a¹. Alluvions anciennes.

a². Alluvions modernes.

P^b. Sables et poudingues.

SECONDE THÈSE.



PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Physiologie :

La survie des tissus.

Botanique :

Action morphogénique de la lumière.

Vu et approuvé :

Paris, le 12 juillet 1912.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

PAUL APPELL.

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 12 juillet 1912.

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

L. LIARD.

50828 PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS.
Quai des Grands-Augustins, 55.
